

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

№ 3 (100)

Нижний Новгород 2013

УДК 050(06)
ББК 9я54
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. № 3 (100). – 336 с.

Выходит 4 раза в год

Главный редактор С.М. Дмитриев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора),
Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора), В.В. Беляков (отв. секретарь), О.В. Пугина (отв. редактор),
Т.В. Третьякова (отв. редактор), Т.П. Новикова (технич. редактор)
Члены редколлегии: В.Г. Баранов, В.Л. Башкатов, В.М. Воротынцев,
В.В. Глебов, А.М. Грошев, А.Н. Зайцев, Е.А. Зайцева, О.С. Кошелев, В.Ф. Кулепов,
А.А. Куркин, И.О. Леушин, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов, В.П. Хранилов,
С.Н. Хрунков, Е.А. Чернышов, В.М. Галкин

УДК 050(06)
ББК 9я54

Электронная версия журнала:
<http://www.nntu.nnov.ru>

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2013

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION
NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY
n.a. R.Y. ALEXEEV

TRANSACTIONS
of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL
UNIVERSITY
n.a. R.Y. ALEXEEV

№ 3 (100)

Nizhni Novgorod 2013

Transactions of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY n. a. R.Y. Alexeev
/ NSTU n.a. R.Y. Alexeev. – Nizhni Novgorod, 2013. № 3 (100). – 336 p.

The journal is issued 4 times a year

Editor-in-Chief S.M. Dmitriev

EDITORIAL BOARD:

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), M.V. Shiryaev.(Deputy Editor-in-Chief),
Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina
(Executive Editor), T.V. Tretyakova (Executive Editor), T.P. Novikova (Technical Editor)
Members of Editorial Board: V.G. Baranov, V.L. Bashkatov, V.M. Vorotintzev, V.V. Glebov,
A.M. Groshev, A.N. Zaytsev, Y.A. Zaytseva, O.S. Koshelev, V.F. Kulepov, A.A. Kurkin,
I.O. Leushin, M.G. Mikhalevko, V.P. Khranilov, A.Y. Panov, S.N. Khrunkov,
Y.A. Chernyshov, V.M. Galkin

Electronic version of the journal:
<http://www.nntu.nnov.ru>

© Nizhni Novgorod State Technical University
n.a. R.Y. Alexeev, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|------------|
| РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ..... | 11 |
| Гойхман М.Б., Ким Ы., Ковалев Н.Ф., Палицин А.В. К скалярной теории плавно нерегулярных полых волноводов..... | 11 |
| Громов А.В., Ким Ы., Фильченков С.Е. Рассеяние волн на неоднородностях планарного волновода..... | 16 |
| Кольцов М.В., Иларионов Ю.А. Волна Зоммерфельда E_{00} в однопроводной линии на квазиоптических частотах..... | 24 |
| МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ..... | 32 |
| Морозов Е.Г. Внутренние приливы в Баб Эль Мандебском проливе..... | 32 |
| Асеева Н.В., Бляхман Л.Г., Логвинова К.В., Тютин В.В. Динамика солитонов в расширенном нелинейном уравнении Шредингера с пространственным индуцированным рассеянием Рамана и экспоненциально убывающей дисперсией..... | 37 |
| Химич С.А. Метод нестационарной аналогии в задаче о волнах на поверхности тяжелой жидкости, генерируемых низколетающим крылом..... | 47 |
| Пелиновский Д.Е., Гиниятуллин А.Р., Панфилова Ю.А., Шургалина Е.Г., Родин А.А. Аналитические приближения уединенных волн в зернистых кристаллах..... | 55 |
| ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ..... | 70 |
| Утробин В.А. Информационная значимость компонент u -преобразования при решении задачи ориентации в пространстве для систем технического зрения..... | 70 |
| Марочкин Н.В. Метод выделения работ для анализа двигательной активности человека в индивидуальной человеко-машинной системе..... | 79 |
| Никулин Е.А. Исследование стробоскопического эффекта..... | 85 |
| МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ..... | 90 |
| Кабалдин Ю.Г. Информационная модель сборки наноструктур..... | 90 |
| Иванов А.А. Применение промышленных роботов в заготовительном производстве.... | 100 |
| Запорожцев А.В. Принципы проектирования организационно-технических систем.... | 106 |
| ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА..... | 116 |
| Бажилов В.А., Михалицын Е.А. Точная юстировка фиксированных аттенуаторов с малым уровнем ослабления..... | 116 |
| Дроздов Ю.Н., Безносков А.В., Бокова Т.А., Шумилков А.И., Махов К.А., Черныш А.С. Экспериментальные исследования характеристик трения при продольном возвратно-поступательном перемещении образцов в среде ТЖМТ..... | 124 |
| Бирюков В.В., Грачев В.А., Малышев Г.С., Раевский А.С., Щербаков В.В. Экспериментальное исследование конечных планарных щелевых антенных решеток..... | 139 |

| | |
|--|------------|
| НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ..... | 145 |
| Беляков В.В., Беляев А.М., Бушуева М.Е., Вахидов У.Ш., Гончаров К.О., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Лелиовский К.Я., Макаров В.С., Папунин А.В., Тумасов А.В., Федоренко А.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин..... | 145 |
| ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ..... | 175 |
| Сутырин В.И., Короткая Е.И. Программа для расчета амплитуд установившихся колебаний корпусной конструкции с применением структуризации квазистатической модели..... | 175 |
| Май Ван Куан. Спасательные суда и вопрос обеспечения безопасности морского транспорта в мире и во Вьетнаме..... | 182 |
| Зуев В.А., Семенов Н.М. Прогнозирование сопротивления платформ на воздушной подушке в поле мелкобитого льда..... | 189 |
| Грамузов Е.М., Тихонова Н.Е. Обоснование проектных характеристик речных ледоколов..... | 195 |
| ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА..... | 200 |
| Бандорин Д.А., Бадугин Д.А., Бычков Е.В., Мельников В.Л., Соколов В.В., Титов В.Г. Автоматизация испытаний гидроцилиндров, как средство повышения эффективности технологического процесса..... | 200 |
| Колосов Р.В., Пученкин А.В., Титов В.В., Титов В.Г. Возобновляемые источники энергии в системах малой генерации..... | 207 |
| МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ..... | 212 |
| Асташенко В.И., Швеёв А.И., Швеёва Т.В., Халиков И.Н. Перспективные стали для тяжело нагруженных деталей автомобиля..... | 212 |
| Александров М.В., Чистяков Д.Г. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной морфологией графита..... | 219 |
| Гущин В.Н., Ульянов В.А., Кузякина А.А. Методика физического моделирования многофазных потоков..... | 230 |
| ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ..... | 236 |
| Кобякова Н.К., Макарова И.Ю., Протасов А.А., Червякова Г.Н. Особенности получения <i>n</i>-хлорфенилметакрилата методом этерификации..... | 236 |
| ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ..... | 242 |
| Кузнецов Ю.А., Маркова С.Е. Анализ качественных особенностей динамики развития российского рынка ИКТ. Структурный подход..... | 242 |
| Яшин С.Н., Мурашова Н.А. Финансовое обеспечение, как важнейший фактор, определяющий результативность и эффективность инновационной деятельности..... | 253 |
| Анашкин Ю.И. Система управления адаптацией студентов-первокурсников..... | 263 |
| Колесов К.И., Антонов А.С. Методические аспекты управления рисками на основе внедрения системы внутреннего контроля..... | 272 |

| | |
|---|------------|
| СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ..... | 279 |
| Сорокоумова С.Н., Исаев В.П. Психологическая структура нравственного сознания у будущих специалистов социномического профиля..... | 279 |
| Терентьев В.В. «Оправдание мира» как проблема социальной онтологии (на примере работ Н.А. Бердяева)..... | 289 |
| Казакова В.И. Креативность как «жизненный мир»: к вопросу о кризисе социальных наук..... | 295 |
| Цветкова Е.А. Концептуальная матрица управления корпоративными конфликтами.... | 301 |
| МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ..... | 308 |
| Гаврилов А.А., Шипунов А.Н. Виброустойчивость микромеханического акселерометра..... | 308 |
| МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ..... | 316 |
| Орлов Ю.Ф., Митяков Е.С. Алгоритм анализа и прогнозирования динамики индикаторов экономической безопасности России..... | 316 |
| Мошкова А.Н., Сергеева Т.Ф., Хватова Е.М. Метод эмпирических зависимостей в оценке и прогнозировании динамики изменения активности олигомерных форм митохондриальной креатинкиназы при ишемии мозга..... | 323 |

CONTENTS

| | |
|---|------------|
| RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATION SYSTEMS, AERIALS AND SHF DEVICES..... | 11 |
| Goykhman M.B., Kim E., Kovalev N.F., Palitsin A.V. About scalar theory of smoothly irregular hollow waveguides..... | 11 |
| Gromov A.V., Kim E., Filchenkov C.E. Wave scattering on the plane waveguide nonhomogeneities..... | 16 |
| Koltsov M. V., Ilarionov Yu. A. Sommerfeld E_{00} wave in a single-wire line on quasi-optical frequency..... | 24 |
| MECHANICS OF FLUID, GAS AND PLASMA | 32 |
| Morozov E.G. Internal tides in the bab el mandeb strait..... | 32 |
| Aseeva N.V., Blyakhman L.G., Logvinova K.V., Tyutin V.V. Soliton gunamics in an extended njnlinear schrodinger equation with a spatial counterpart of the stimulated raman scattering and exponentially decreasing dispersion..... | 37 |
| Khimich S.A. The method of non-stationary analogy in the problem of the waves on the surface of a heavy liquid under low-flying wing..... | 47 |
| Pelinovsky D.E., Giniyatullin A.R., Panfilova Yu.A., Shurgalina E.G., Rodin A.A. Analytical approximations of solitary waves in granular crystals..... | 55 |
| INFORMATION SCIENCE AND CONTROL SYSTEMS..... | 70 |
| Utrobin V.A. Significance of information of U -transform components in solving the problem of orientation in space for vision systems..... | 70 |
| Marochkin N.V. Analysis operation activity method in individual man-machine system by choosing operations..... | 79 |
| Nikulin E.A. Stroboscope effect survey..... | 85 |
| MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION | 90 |
| Kabaldin Yu.G. Information model build nanostructures..... | 90 |
| Ivanov A.A. Employment of industrial robots for blanking production..... | 100 |
| Zaporozhtsev A.V. The design principles of organizational and technical systems..... | 106 |
| NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS | 116 |
| Bagilov V.A., Mihalitsyn E.A. The fine adjustment of fixed attenuators with a low attenuation level..... | 116 |
| Drozдов Yu.N., Beznosov A.V., Bokova T.A., Shumilkov A.I., Mahov K.A., Chernish A.S. Experimental study of performance friction in longitudinal back-and-forth movement of the sample a medium liquid heavy metal..... | 124 |
| Biryukov V., Grachev V., Malyshev G., Raevskii A., Sherbakov V. Experimental study of finite planar slot antenna arrays..... | 139 |

| | |
|--|------------|
| LAND-BASED TRANSPORT SYSTEMS | 145 |
| VBelyakov.V., Belyaev A.M., Bushueva M.E., Vahidov U.Sh., Goncharov K.O., Zezyulin D.V., Kolotilin V.E., Leliovsky K.Y., Makarov V.S., Papunin A.V., Tumasov A.V., Fedorenko A.V. The conception of movability of ground transport and technological vehicles..... | 145 |
| PROBLEMS OF SHIPBUILDING AND OCEAN TECHNOLOGY..... | 175 |
| Sutyryn V.I., Korotkaya E.I. The program for calculating of the steady vibrations amplitude of ship hull structures using structurization quasistatic model..... | 175 |
| Mai Van Q. Salvage vessels and question of sea transport safety in the world and in Vietnam..... | 182 |
| Zuev V.A., Semenova N.M. Resistance forecasting of ice-breaking air cushion platform in sludge ice..... | 189 |
| Gramuzov E.M., Tikhonova N.E. Justification of design characteristics of river icebreakers..... | 195 |
| ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY | 200 |
| Bandorin D.A., Badugin D.A., Bychkov E.V., Melnikov V.L, Sokolov V.V., Titov V.G. Automating the testing of cylinders as a means of increase of efficiency of technological processe..... | 200 |
| Kolosov R.V., Puchenkin A.V., Titov V.V., Titov V.G. Renewable energy in the systems of small generation..... | 207 |
| METALLURGY AND SCIENCE MATERIALS | 212 |
| Astashchenko V.I., Shveev A.I., Shveeva T.V., Halikov I.N. Perspective became for the tyazhelonagruzhennykh of details of the car..... | 212 |
| Aleksandrov M.V., Chistaykov D.G. Formation of gradient structure in cast iron glass-molds with different morphology of graphite..... | 219 |
| Gushchin V.N., Ulyanov V.A., Cuzyakina A.A. Methods physical modeling of multiphase flow..... | 230 |
| CHEMISTRY, CHEMICAL AND BIOTECHNOLOGIES | 236 |
| Kobyakova N.K., Makarova I.Y., Protasov A.A., Chervyakova G.N. Features of preparation of <i>p</i> -chlorophenyl methacrylate by esterification method..... | 236 |
| ECONOMICS, INNOVATIONS AND MANAGEMENT | 242 |
| Kuznetsov Yu.A., Markova S.E. Analysis of qualitative features of the russian ict market development dynamics. structural approach..... | 242 |
| Yashin S.N., Murashova N.A. Funding is an important factor determining performance of innovation..... | 253 |
| Anashkin Y.I. Adaptation management system of first year students..... | |
| Kolesov K.I., Antonov A.S. Methodical aspects of risk management based on introduction of internal control system | 272 |

| | |
|---|------------|
| SOCIAL SCIENCES, EDUCATIONAL INNOVATIONS, PR-TECHNOLOGIES..... | 279 |
| Sorokoumova S.N., Isaev V.P. The psychological structure of the moral consciousness of the future specialists socionomic profile..... | 279 |
| Terentjev V.V. World justification as social ontology problem..... | 289 |
| Kazakova V.I. Creativeness as «lebenswelt»:on the issue of social science crisis..... | 295 |
| Tsvetkova E.A. Conceptual matrix of corporative conflicts steering..... | 301 |
| MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS..... | 308 |
| Gavrilov A.A., Shipunov A.N. Vibration stability of mems aclelerometer..... | 308 |
| MATHEMATICAL METHODS IN NATURAL, TECHNICAL ANDSOCIAL SCIENCES | 316 |
| Orlov YU.F., Mityakov E.S. Algorithm for analysis and forecasting of the behavior of Russia's economic security indicators | 316 |
| Moshkova A.N., Sergeeva T.F., Khvatova E.M. The method of empirical dependences in estimation and prediction of dynamics of the activity change of oligomeric forms of mitochondrial creatine kinase in cerebral ischemia..... | 323 |

РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 537.874.6

М.Б. Гойхман, Ы. Ким, Н.Ф. Ковалев, А.В. Палицин

К СКАЛЯРНОЙ ТЕОРИИ ПЛАВНО НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПОЛЫХ ВОЛНОВОДОВ

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

Основные уравнения метода поперечных сечений для акустических волноводов выводятся на основе квадратичного соотношения типа леммы Лоренца без привлечения операции почленного дифференцирования бесконечных разложений по собственным функциям.

Ключевые слова: нерегулярные акустические волноводы, дифракция плоской волны, граничное интегральное уравнение, волноводы сравнения.

В основе многих приближенных методов решения задач о рассеянии волн в многомодовых волноводах с распределенными неоднородностями лежит метод поперечных сечений, простой и наиболее употребительный вариант которого изложен в работах [1, 2]. По существу, это строгая в математическом отношении версия физически наглядного метода связанных волн. Суть метода заключается в следующем. Неоднородному волноводу в каждом его сечении сопоставляется вспомогательный регулярный волновод сравнения (ВС) с теми же сечением и распределением параметров заполняющей среды. Искомое поле представляется в виде суперпозиции полей собственных (парциальных) волн соответствующих ВС. Коэффициенты этого разложения определяются из решения бесконечной системы взаимно связанных линейных уравнений. При таком выборе ряды, представляющие поля, быстро сходятся, с чем и связаны основные преимущества подобных расчетных схем.

В книге [1] для вывода коэффициентов связи используются два последовательных предельных перехода, чтобы избежать операций почленных дифференцирований бесконечных рядов. Это обстоятельство делает несколько неопределенной область применимости метода и затрудняет его дальнейшее усовершенствование.

В данной работе рассмотрен строгий вывод системы дифференциальных уравнений первого порядка и коэффициентов их взаимной связи без привлечения операций почленного дифференцирования. Рассматривается скалярный вариант теории с зависимостью полей от времени в виде $e^{i\omega t}$. В исходных уравнениях

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{U} &= -i \frac{\omega}{\rho c^2} P, \\ \operatorname{grad} P &= -i\omega \rho \vec{U} \end{aligned} \quad (1)$$

\vec{U} и P - колебательная скорость и давление; ρ - плотность среды; c - скорость распространения плоских волн в ней. Считается, что

$$\begin{aligned} \rho &= \rho(x, y, z), \\ c &= c(x, y, z) \end{aligned} \quad (2)$$

и на боковой границе волновода (S) выполнено одно из граничных условий

$$P|_S = 0, \tag{3}$$

$$U_N|_S = 0, \tag{4}$$

где N - направление внешней нормали. Условие (3) соответствует мягкой стенке, а условие (4) - жесткой стенке. В качестве координат в исследуемом волноводе приняты \vec{r}_\perp и z , а в ВС их будем обозначать \vec{r}_\perp и ζ (рис. 1). Причем под ВС понимаются среды, в которых ρ и c не зависят от z и ограничивающие их контура стенок замкнуты. Предполагается, что для ВС известен полный набор распространяющихся и закритических волн:

$$\vec{U}^m = \vec{V}^m(\vec{r}_\perp, z)e^{-ih_m\zeta}, \tag{5}$$

$$P^m = p^m(\vec{r}_\perp, z)e^{-ih_m\zeta}. \tag{6}$$

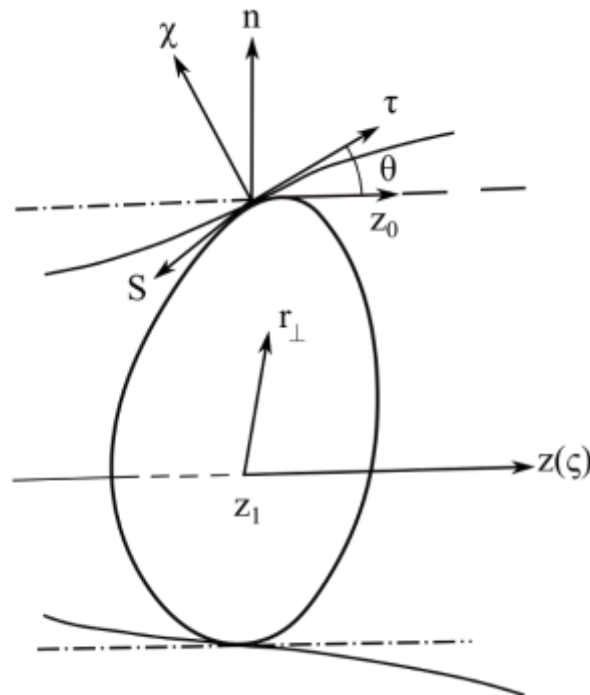


Рис. 1

Здесь индекс m принимает значения от $-\infty$ до ∞ , кроме $m = 0$, причем положительным индексам соответствуют волны с положительными h_m , которые распространяются в \vec{z}_0 направлении, а отрицательным индексам $m < 0$ соответствуют встречные волны, бегущие в $-\vec{z}_0$ направлении. Предполагается также, что выполняются условия четности:

$$\begin{aligned} h_{-m} &= -h_m, \\ p^{-m} &= -p^m, \\ \vec{V}_\perp^{-m} &= -\vec{V}_\perp^m, \\ V_z^{-m} &= V_z^m. \end{aligned} \tag{7}$$

Зависимости \vec{V}^m и p^m от z , а так же $h_m = h_m(z)$ связаны с изменением параметров ВС при переходе от сечения к сечению. Волны сравнения в каждом сечении взаимно ортогональны

$$\int_{S_\perp} (p^m \vec{V}^{-\nu} - p^{-\nu} \vec{V}^m) \vec{z}_0 dS = N_m \delta_{m\nu} \tag{8}$$

и их комплексные амплитуды удовлетворяют уравнениям:

$$\operatorname{div}_{\perp} \vec{V}_{\perp}^m - ih_m V_z^m = -i \frac{\omega}{\rho c^2} p^m \quad (9)$$

$$\operatorname{grad}_{\perp} p^m - i \vec{z}_0 h_m p^m = -i \omega \rho \vec{V}_m$$

в каждом из сечений.

Для дальнейшего систему (9) нужно преобразовать путем добавления и вычитания слагаемых

$$\frac{\partial V_z^m}{\partial z}, \quad \vec{z}_0 \frac{\partial p^m}{\partial z}$$

в левых частях соответствующих уравнений (9)

$$\operatorname{div} \vec{V}^m - \frac{\partial V_z^m}{\partial z} - ih_m V_z^m = -i \frac{\omega}{\rho c^2} p^m, \quad (10)$$

$$\operatorname{grad} p^m - \vec{z}_0 \left(\frac{\partial p^m}{\partial z} + ih_m p^m \right) = -i \omega \rho \vec{V}^m.$$

Перемножая последовательно уравнения (1) на p^{-m} и \vec{V}^{-m} и уравнений (10) на P и \vec{U} , нетрудно получить квадратичное соотношение типа «леммы Лоренца»

$$\operatorname{div} (p^m \vec{U} - P \vec{V}^m) = U_z \left(ih_m p^m + \frac{\partial p^m}{\partial z} \right) - P \left(ih_m V_z^m + \frac{\partial V_z^m}{\partial z} \right), \quad (11)$$

которое непосредственно можно использовать для исследования некоторых простых волноводных систем. В частности, (11) удобно применять в расчетах рассеяния волн на малых волноводных ступеньках.

Ограничиваясь рассмотрением нерегулярных волноводов с постоянной связностью и с гладкими боковыми стенками, т.е. без ребер и изломов, в выражении, полученном интегрированием соотношения (11), по тонкому поперечному слою Δz можно перейти к пределу $\Delta z \rightarrow 0$. В результате получается удобное интегральное соотношение

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dz} \int_{S_{\perp}} (p^m \vec{U} - P \vec{V}^m) \vec{z}_0 dS + ih_m \int_{S_{\perp}} (V_z^m P - U_z p^m) dS = \\ & = \oint_L (p^m \vec{U} - P \vec{V}^m) \vec{N} dl + \int_{S_{\perp}} \left(U_z \frac{\partial p^m}{\partial z} - P \frac{\partial V_z^m}{\partial z} \right) dS. \end{aligned} \quad (12)$$

Поверхностные интегралы здесь берутся по всему поперечному сечению, а линейный - по ограничивающему его замкнутому контуру. Значение этого контурного интеграла зависит от типа граничного условия (3), (4). Так, если рассматривается волновод с мягкими стенками (3) и в ВС так же мягкие стенки, то контурный интеграл обращается в нуль. Если же выполняются условия (4), то контурный интеграл из (12) будет равен

$$- \oint_L V P \vec{V}^m \vec{N} dl. \quad (13)$$

В полученное интегральное соотношение (12) входят только продольные составляющие полной колебательной скорости, поэтому достаточно предположить справедливость неполных разложений:

$$U_z = \sum_{v=-\infty}^{\infty} A_v V_z^v, \quad (14)$$

$$P = \sum_{v=-\infty}^{\infty} A_v p^v, \quad (15)$$

что с учетом условий ортогональности приводит к искомой системе дифференциальных уравнений первого порядка соответствующих системе связанных волн

$$\frac{d}{dz} A_m N_m + i h_m A_m N_m = \sum_{v=-\infty}^{\infty} A_v \int_{S_{\perp}} \left(V_z^v \frac{\partial p^{-m}}{\partial z} - p^v \frac{\partial V_z^{-m}}{\partial z} \right) dS \quad (16)$$

или

$$\frac{dA_m}{dz} + i h_m A_m = -\delta_{vm} \frac{1}{N_m} \frac{dN_m}{dz} + \sum_{v=-\infty}^{\infty} S_{vm} A_v \quad (17)$$

$$m \in (-\infty, \infty). \quad (18)$$

В (16) и (17) опущен контурный интеграл, поскольку ради простоты боковые стенки предполагались идеально мягкими. Величины

$$S_{vm} = \frac{1}{N_m} \int_{S_{\perp}} \left(V_z^v \frac{\partial p_z^{-m}}{\partial z} - p^v \frac{\partial V_z^{-m}}{\partial z} \right) dS \quad (19)$$

называются локальными коэффициентами связи, они являются дифференциальными характеристиками нерегулярного участка волновода. Коэффициенты связи могут быть преобразованы к форме, содержащей производные по z только от параметров волновода. Для этого достаточно продифференцировать условие ортогональности (8). На этом же пути выводятся соотношения взаимности и более простые выражения для постоянных распространения h_m :

$$h_m S_{mj} = -h_j S_{jm}; \quad (m \neq j),$$

$$S_{mm} = -\frac{1}{2h_m} \frac{\partial h_m}{\partial z}.$$

Для постановки и решения задач рассеяния волноводных волн на неоднородностях нужны граничные или конечные условия, которые можно установить следующим образом. Пусть нерегулярный участок волновода непрерывным образом сочленен с входным и выходным регулярными полубесконечными волноводами. Эти конечные волноводы являются первым и последним ВС. Если предположить, что со стороны левого волновода на нерегулярный участок падает одна из распространяющихся волн с номером $m > 0$, то тогда в силу непрерывности полей можно записать

$$P_m(0) = P_{m0}, \quad P_{\substack{v>0 \\ v \neq m}}(0) = 0, \\ P_{v<0}(d) = 0,$$

где $z = 0$ и $z = d$ - границы нерегулярного участка.

Возможна постановка и других конечных условий, соответствующих другим задачам, в частности, при одновременном падении нескольких волн как слева, так и справа.

При выводе системы дифференциальных уравнений (17), (19) типа уравнений связанных волн нигде не использовались операции почленного дифференцирования рядов, с чем связана возможность построения быстро сходящихся итерационных решений, причем даже в случае, когда граничные условия в исследуемом волноводе и ВС не совпадают. Очевидно, что система (17), (19) удобна и для решения задач синтеза или восстановления профиля нерегулярного волновода по заданным характеристикам рассеянных волн. Примененный здесь метод может быть также использован при построении расчетных схем для волноводов с анизотропной заполняющей средой, многосвязных волноведущих систем, гребенчатых волноводов или замедляющих систем и фильтров. Предложенная схема, очевидно, может быть использована и в квазиоптике. Но главное ее достоинство – это возможность применения во многих приближенных расчетах и построении наглядных (качественных) картин процессов рассеяния. Схема во многом универсальна и может применяться не только к волноводным системам.

При выводе искомого уравнений (17), (19) операции почленного дифференцирования нигде не использовались. С этим обстоятельством связана возможность построения быстро

сходящихся итерационных решений, причем даже в случае, когда граничные условия в исследуемом волноводе и ВС не совпадают.

Это обстоятельство существенно расширяет область применимости описанной схемы. В частности, возможно учесть потери колебательной энергии в стенках волноводов, используя заведомо полную систему функций ВС с идеальными стенками.

Библиографический список

1. **Каценеленбаум, Б.З.** Теория нерегулярных волноводов с медленно изменяющимися параметрами / Б.З. Каценеленбаум. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 216 с.
2. **Шевченко, В.В.** Неоднородные акустические волноводы // Акуст. журнал. 1961. № 7.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

M.B. Goykhman, E. Kim, N.F. Kovalev, A.V. Palitsin

ABOUT SCALAR THEORY OF SMOOTHLY IRREGULAR HOLLOW WAVEGUIDES

Institute of Applied Physics Russian Academy of Science, Nizhny Novgorod

The subject of the article is the correct derivation of the system of equations for coupled waves in irregular acoustic waveguides. The resulting system of equations has a clear physical interpretation, that allows to use qualitative considerations and analogy from the usual theory of linear waves.

The article is based on the generalized quadratic relation of the type of Lorentz's lemma for the fields of investigated waveguide and for the fields of eigen waves of so-called comparison waveguides (CW). Proposed way of solution permits to use non-uniformly convergent series of the waves of CW, that is, series to which the operation of term by term differentiation is not applicable. This allows to build rapidly converging iterative procedure that is well suited for numerical calculations and also for useful variants of perturbation methods, in particular, for popular Born approximation.

Key words: irregular acoustic waveguides, plane waveguide, plane wave diffraction, boundary integral equation, so-called comparison waveguides.

УДК 537.874.6

А.В. Громов, Ы. Ким, С.Е. Фильченков

РАССЕЯНИЕ ВОЛН НА НЕОДНОРОДНОСТЯХ ПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА

Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород

Рассмотрено применение метода интегральных уравнений типа Фредгольма второго рода к решению четырех взаимно сопряженных задач о рассеянии плоских волн на решетках из идеально проводящих стержней произвольной формы и размеров, и о рассеянии волн планарных волноводов на тех же стержнях. Метод отличается высокой скоростью расчетов и возможностью использования стержней достаточно произвольного сечения, в том числе и с внутренними полостями.

Ключевые слова: дифракция плоских волн, планарный волновод, граничные интегральные уравнения, функция Грина.

Рассматривается задача переизлучения собственной волны плоского волновода на неоднородности.

Волновод представляет собой две параллельные плоскости $z=0$ и $z=L/2$, на одной из которых ($z=0$) находится гладкая неоднородность S (рис. 1). В декартовых координатах ее образующая задана параметрически :

$$x = X(l), z = Z(l), 0 \leq l \leq S_l/2, X(0) = x_1, X(S_l/2) = x_2, Z(0) = Z(S_l/2) = 0, \quad (1)$$

где l - длина дуги; $X(l), Z(l)$ - непрерывные кусочно-дифференцируемые функции. Вся задача однородна вдоль оси Y .

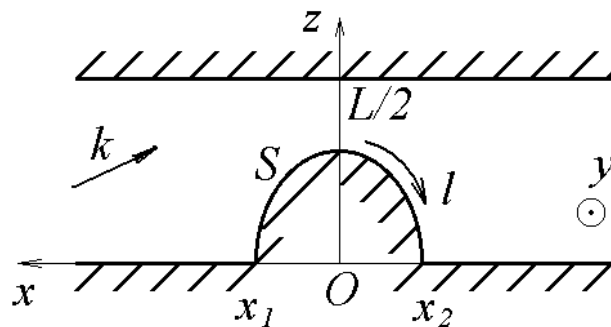


Рис. 1

Рассмотрим волновой процесс в вакууме с зависимостью от времени в виде $\exp(-i\omega t)$. Запишем уравнения Максвелла в Гауссовой системе для комплексных величин:

$$\begin{cases} \text{rot } \vec{\mathbf{H}} = -ik\vec{\mathbf{E}} \\ \text{rot } \vec{\mathbf{E}} = ik\vec{\mathbf{H}} \end{cases}, \quad (2)$$

где $\vec{\mathbf{E}}$ и $\vec{\mathbf{H}}$ - вектора напряженностей электрического и магнитного полей соответственно; $k = \omega/c$ - волновое число; c - скорость света в вакууме.

Не нарушая общности рассуждений, будем рассматривать волны, однородные вдоль оси Y , для которых выполняется

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial y} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial y} = 0 . \quad (3)$$

Сначала рассмотрим волны с магнитной поляризацией вдоль оси Y , для которых $E_y = 0, H_y \neq 0$, а уравнения Максвелла (2) в декартовых координатах имеют вид

$$\begin{cases} E_x = -\frac{i}{k} \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ E_y = 0 \\ E_z = \frac{i}{k} \frac{\partial H_y}{\partial x} \end{cases}, \begin{cases} H_x = 0 \\ H_y = \frac{i}{k} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \\ H_z = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Эти волны описываются одной составляющей магнитного поля

$$\vec{H} = \vec{e}_y H_y(x, z), \quad (5)$$

удовлетворяющей скалярному уравнению Гельмгольца

$$\Delta H_y + k^2 H_y = 0. \quad (6)$$

Границы волновода считаем идеально проводящими, поэтому граничные условия на их внутренней стороне

$$\vec{E}_\tau \Big| = 0 \quad (7)$$

для магнитного поля выглядят

$$\left. \frac{\partial H_y}{\partial z} \right|_{z=L/2-0} = \left. \frac{\partial H_y}{\partial z} \right|_{z=+0} = \left. \frac{\partial H_y}{\partial n} \right|_{S+0} = 0 . \quad (8)$$

$\begin{array}{l} z = +0 \\ x \geq x_1 \\ x \leq x_2 \end{array}$

Разделим полное поле на две части:

$$H_y(x, z) = H_{\text{ext}}(x, z) + H(x, z) . \quad (9)$$

Здесь H - поле, рассеянное на неоднородности, а H_{ext} - приходящая из $x = \infty$ распространяющаяся в плоском волноводе волна

$$H_{\text{ext}}(x, z) = \exp(-ig_n x) \cos(ih_n z) , \quad (10)$$

где $h_n = n \frac{2\pi}{L}$; $g_n^2 = k^2 - h_n^2 \geq 0, n \in Z$.

Воспользуемся тем, что плоские границы являются идеально проводящими, и отразим волновод зеркально относительно граничных плоскостей (при этом структура поля в рассматриваемой области не изменится). В результате получим задачу о дифракции плоской волны (10) на системе, состоящей из периодически расположенных симметричных стержней (рис. 2):

$$W \equiv S \cup S_c : \begin{cases} X(l) = X(S_l - l) \\ Z(l) = -Z(S_l - l) \end{cases}, 0 \leq l \leq S_l, \quad (11)$$

где S_c - линия, зеркально симметричная S относительно плоскости $z = 0$.

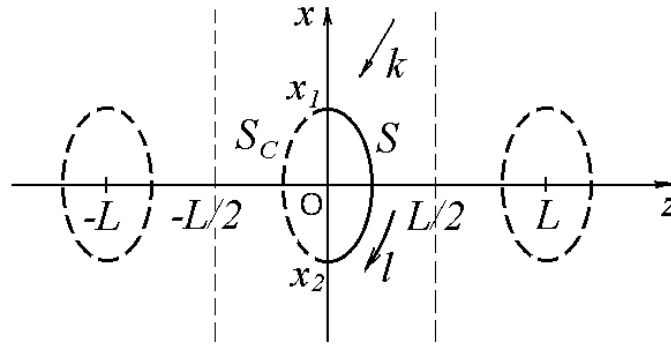


Рис. 2

Решение подобной задачи методом граничных интегральных уравнений типа Фредгольма второго рода подробно изложено в [1]. Суть его состоит в том, что решение периодической задачи ищем в виде интеграла типа потенциала простого слоя на периоде

$$H(x, z) = \int_W \alpha(\bar{l}) G(x, z, X(\bar{l}), Z(\bar{l})) d\bar{l} . \tag{12}$$

Здесь $\alpha(l)$ - неизвестная периодическая функция, определенная на линии W ; $G(x, z, X, Z)$ - функция Грина двумерной периодической задачи, для которой используют представление в виде ряда по пространственным гармоникам

$$G(x, z, X, Z) = \frac{\pi i}{L} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \frac{\exp\left(ig_m|x-X| + ih_m \frac{2\pi}{L}(z-Z)\right)}{g_m} , \tag{13}$$

$\text{Im } g_m \geq 0$. Члены ряда (13) при $|m| \rightarrow \infty$ имеют асимптотику

$$\frac{1}{|m|} \exp\left(-|m| \frac{2\pi}{L}|x-X|\right) \exp\left(im \frac{2\pi}{L}(z-Z)\right).$$

Потенциал (12) непрерывен, непрерывно дифференцируем вне линии (11), имеет правильную нормальную производную на W извне, которая равна

$$\frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{W+0} = -\pi\alpha(l) + \int_W \alpha(\bar{l}) \frac{\partial G(X(l), Z(l), X(\bar{l}), Z(\bar{l}))}{\partial n} d\bar{l} . \tag{14}$$

Здесь интеграл понимается в смысле главного значения. Тогда из (8) с учетом (9) и (10) получаем интегральное уравнение на неизвестную функцию $\alpha(l)$:

$$\begin{aligned} & -\pi\alpha(l) - \frac{\pi}{L} \int_W \alpha(\bar{l}) \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left[Z'(l) \text{sign}(X(l) - X(\bar{l})) - \frac{h_m}{g_m} X'(l) \right] \times \\ & \times \exp\left[ig_m|X(l) - X(\bar{l})| + im \frac{2\pi}{L}(Z(l) - Z(\bar{l}))\right] d\bar{l} = \\ & = i[g_n Z'(l) \cos(h_n Z(l)) - h_n X'(l) \sin(h_n Z(l))] \exp[-ig_n X(l)] \end{aligned} \tag{15}$$

При численной реализации перейдем к новой переменной t :

$$l = l(t) , l'(t) \geq 0 , l(t + 2\pi) = l(t) + S_l \tag{16}$$

с произвольной $l(t)$, которая выражает дискретное описание профиля (1), и к новой неизвестной функции

$$\beta(t) = -\pi\alpha[l(t)]l'(t) . \tag{17}$$

Уравнение (15) при этом примет вид, инвариантный относительно координаты интегрирования:

$$\beta + \frac{1}{L} \int_0^{2\pi} \bar{\beta} Q(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) d\bar{t} = i [g_n Z' \cos(h_n Z) - h_0 X' \sin(h_n Z)] \exp(-ig_n X). \quad (18)$$

Здесь введено обозначение ядра

$$Q(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left[Z' \operatorname{sign}(X - \bar{X}) - \frac{h_m}{g_m} X' \right] \exp \left[ig_m |X - \bar{X}| + im \frac{2\pi}{L} (Z - \bar{Z}) \right]. \quad (19)$$

Введение новой переменной t позволяет использовать уравнение (18) для профилей, имеющих конечное число точек нарушения гладкости.

Следует отметить, что однородное уравнение (18) описывает собственные волны с магнитной поляризацией исходного плоского волновода, а однородное уравнение (18) с изменением знака перед интегралом – собственные волны волновода внутри профиля W .

Интегральное уравнение (18) решается методом Галеркина с базисной системой $\{\exp(ipt)\}$. При этом получается бесконечная система линейных неоднородных алгебраических уравнений

$$b_p + \sum_{j=-\infty}^{+\infty} B_{pj} b_j = f_p, \quad (20)$$

где b_p - коэффициенты Фурье искомой функции $\beta(t)$; B_{pj} - коэффициенты Фурье ядра уравнения (18):

$$B_{pj} = \frac{1}{2\pi L} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} Q(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) \exp(i(j\bar{t} - pt)) d\bar{t} dt, \quad (21)$$

а f_p - коэффициенты Фурье правой части уравнения (18).

Для улучшения сходимости ряда ядра (19) была выделена его главная часть с известной суммой:

$$\begin{aligned} AQ(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) &= \\ &= \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left[Z' \operatorname{sign}(X - \bar{X}) + iX' \operatorname{sign}(m) \right] \exp \left[- \left| m \frac{2\pi}{L} \right| |X - \bar{X}| + im \frac{2\pi}{L} (Z - \bar{Z}) \right] = \\ &= \frac{Z' \operatorname{sh}(X - \bar{X}) - X' \sin \frac{2\pi}{L} (Z - \bar{Z})}{ch |X - \bar{X}| - \cos \frac{2\pi}{L} (Z - \bar{Z})} - Z' \operatorname{sign}(X - \bar{X}) \end{aligned} \quad (22)$$

Выражение (22) содержит устранимую особенность типа $\frac{0}{0}$.

Для численной реализации используем конечную систему линейных уравнений

$$b_p^d + \sum_{j=-M}^M B_{pj}^d b_j^d = f_p^d, \quad p = -M, M, \quad (23)$$

где B_{pj}^d - дискретное преобразование Фурье ядра (19).

Точность, достигаемая в расчетах при заданном числе гармоник M и числе точек дискретизации профиля (не менее $(2M + 1)$), контролировалась скоростью убывания старших гармоник решения, и – оперативно – выполнением закона сохранения энергии, который в нашем случае записывается как

$$\sum_{m, \operatorname{Im} g_m = 0} \left| \frac{g_m}{g_0} \right| |A_m|^2 = 1, \quad (24)$$

где A_m - коэффициенты разложения поля $H(x, z)$ по пространственным гармоникам вдали от поверхности (1):

$$H(x, z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n \exp\left(ig_n x + in \frac{2\pi}{L} z\right) \quad \text{при } x > x_1. \quad (25)$$

Для волн с электрической поляризацией вдоль оси Y , для которых $E_y \neq 0$, $H_y = 0$, уравнения Максвелла (2) в декартовых координатах имеют вид

$$\begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = -\frac{i}{k} \left(\frac{\partial H_z}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial z} \right) \\ E_z = 0 \end{cases}, \quad \begin{cases} H_x = \frac{i}{k} \frac{\partial E_y}{\partial z} \\ H_y = 0 \\ H_z = -\frac{i}{k} \frac{\partial E_y}{\partial x} \end{cases}. \quad (26)$$

Такие волны описываются одной составляющей электрического поля

$$\vec{E} = \vec{e}_y E_y(x, z), \quad (27)$$

которая удовлетворяет уравнению Гельмгольца

$$\Delta E_y + k^2 E_y = 0. \quad (28)$$

Идеально проводящий металл границы приводит к граничной задаче Дирихле для полного поля

$$E_y|_{S+0} = 0, \quad (29)$$

или для рассеянного поля

$$E|_{S+0} = -E_{\text{ext}}|_{S+0}, \quad (30)$$

где, как и в (9), выделена приходящая распространяющаяся плоская волна

$$E_{\text{ext}}(x, z) = \exp(-ig_n x) \sin(h_n z) \quad (31)$$

с обозначениями (10).

Как и ранее, при зеркальном отражении волновода получаем задачу дифракции плоской волны на периодической структуре, решение которой ищем в виде периодического по z интеграла типа потенциала двойного слоя:

$$E(x, z) = \int_w \alpha(\bar{l}) \frac{\partial G(x, z, X(\bar{l}), Z(\bar{l}))}{\partial n} d\bar{l}, \quad (32)$$

где $G(x, z, X, Z)$ - функция Грина (13).

Потенциал (32) непрерывен вне линии (11) и на ней, а его предельное значение извне равно

$$E|_{W+0} = \pi\alpha(l) + \int_{s_l} \alpha(\bar{l}) \frac{\partial G(X(l), Z(l), X(\bar{l}), Z(\bar{l}))}{\partial n} d\bar{l}, \quad (33)$$

где интеграл понимается в смысле главного значения. После перехода к новой переменной (16) и неизвестной функции $\beta = \pi\alpha(l(t))$, из (30)–(33) получаем интегральное уравнение для задачи рассеяния волн с электрической поляризацией:

$$\beta + \frac{1}{L} \int_0^{2\pi} \bar{\beta} U(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) d\bar{t} = \exp(-ig_n X) \sin(h_n Z) \quad (34)$$

с ядром

$$U(X, Z, \bar{X}, \bar{Z}) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \left[\bar{Z}' \operatorname{sign}(X - \bar{X}) - \frac{h_m}{g_m} \bar{X}' \right] \exp \left[ig_m |X - \bar{X}| + im \frac{2\pi}{L} (Z - \bar{Z}) \right]. \quad (35)$$

Решается это уравнение описанным выше способом.

Как указано ранее, однородное уравнение (34) описывает собственные волны исходного плоского волновода, а при изменении знака перед интегралом – волновода внутри профиля W .

Далее приведены рис. 3 – рис. 6, иллюстрирующие расчеты уравнения (18) (магнитная поляризация) в случае нулевой распространяющейся гармоники ($n = 0$ в правой части уравнения) с волновым числом $k = 4$ для волноводов $L/2 = \pi$ с неоднородностью в виде полуокружностей с радиусом $\pi/8$ (рис. 3, 4) и радиусом $3\pi/8$ (рис. 5, 6).

На рис. 3 и рис. 5: e – профиль неоднородности в координатах z и x с эквидистантной сеткой точек описания ($1 < p \leq M = 65$); a, b – координаты z и x в сетке точек описания профиля; c, d – модуль и фаза решения в той же сетке; f – модуль логарифма гармоник решения.

На рис. 4 и рис. 6 показаны первые 12 коэффициентов разложения отраженного A_n и прошедшего B_n полей: их модуль (Abs), фаза Arg и плотность мощности P.

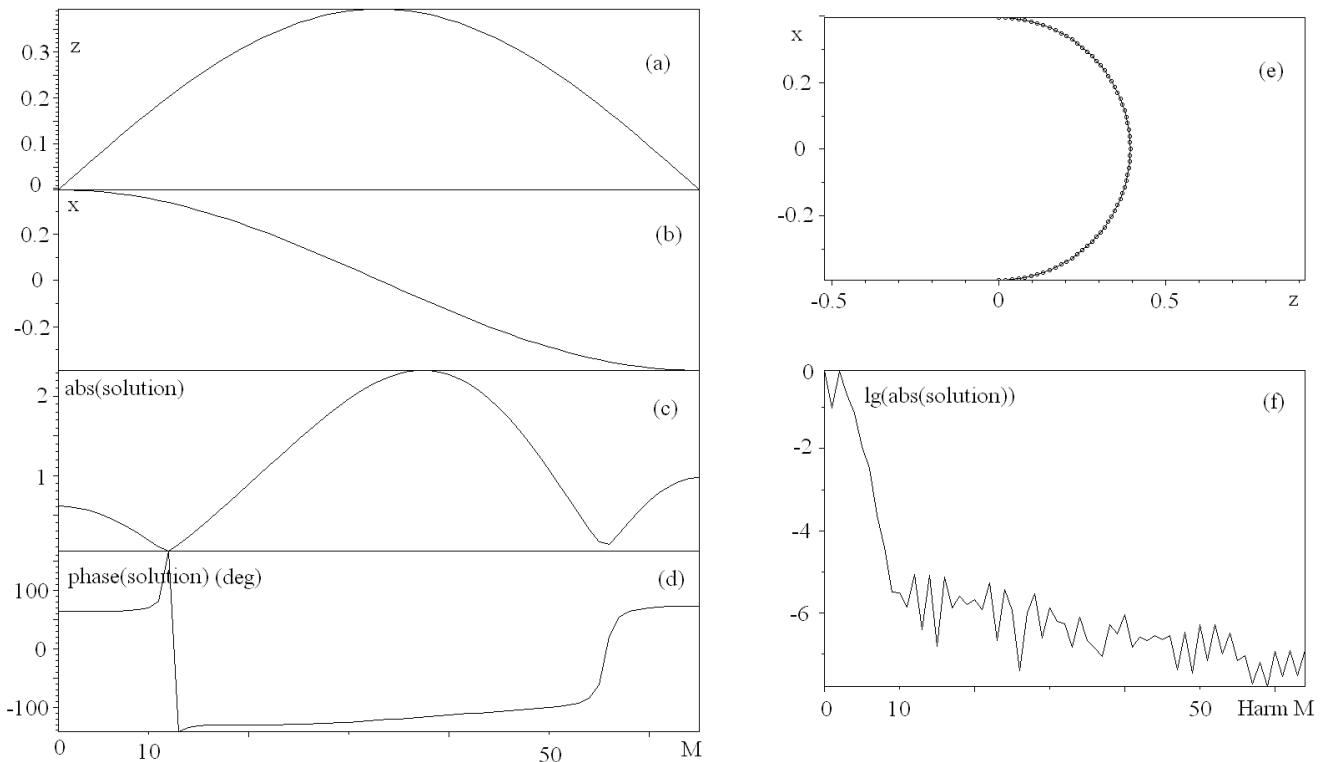


Рис. 3

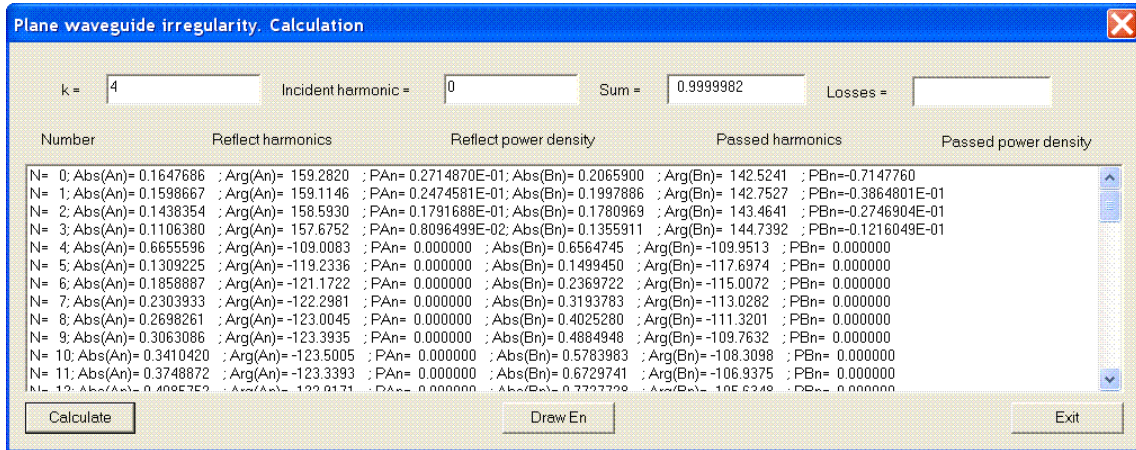


Рис. 4

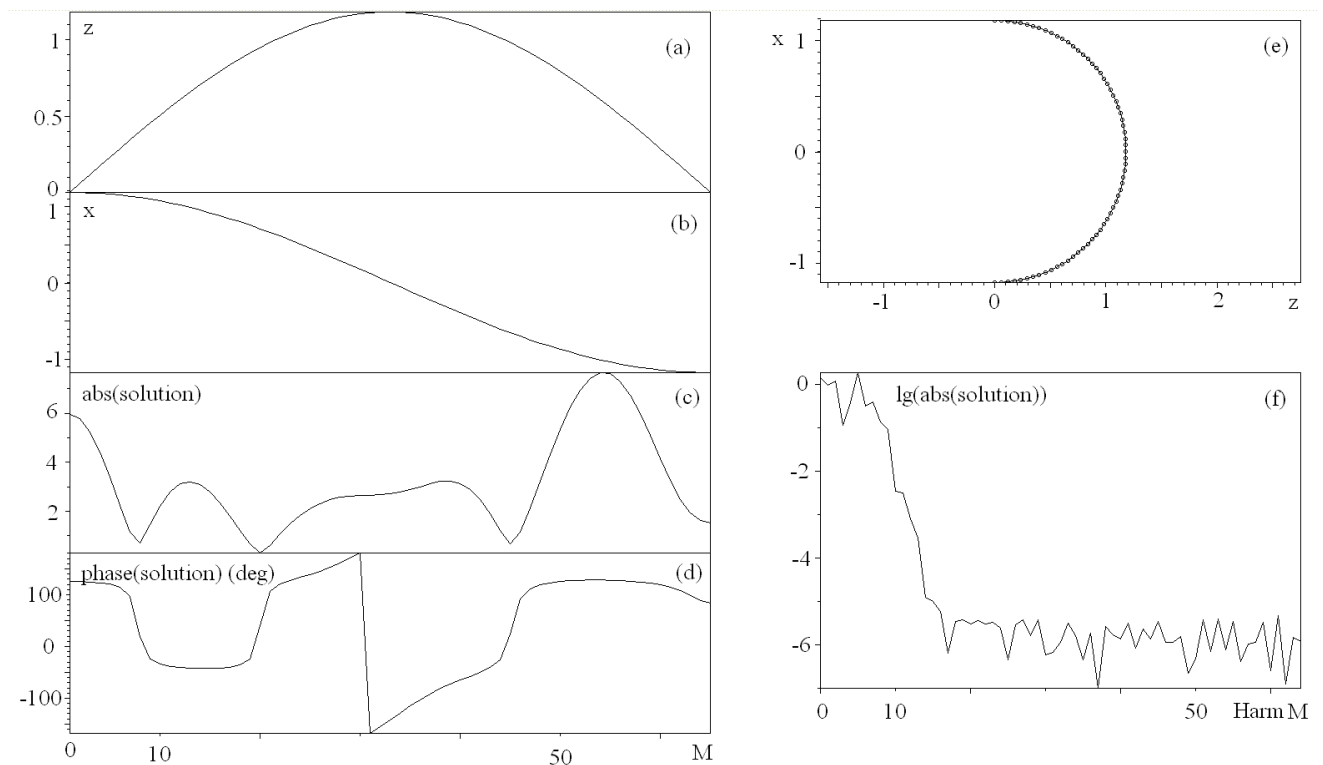


Рис. 5

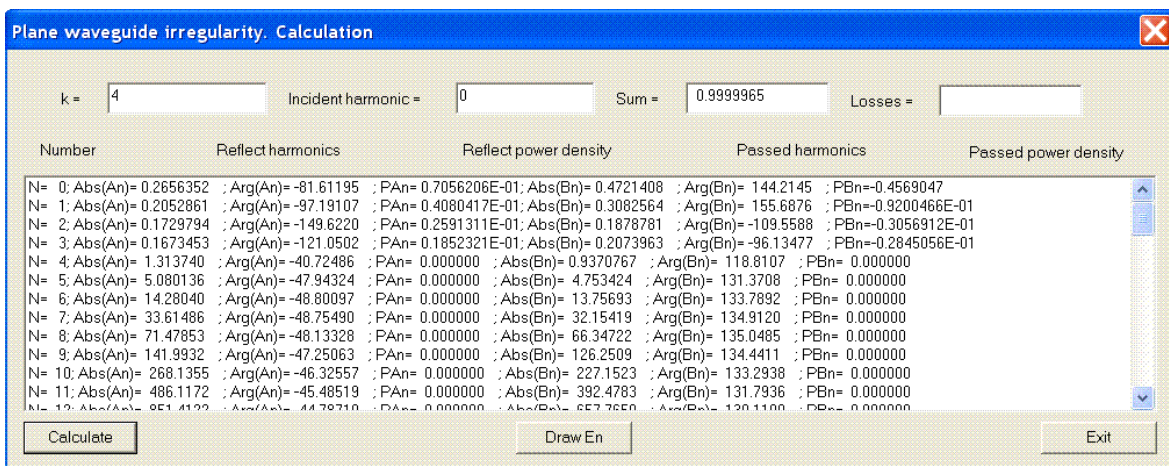


Рис. 6

Время расчета составляет порядка 1 с для процессора Intel Core Quad 2.83 GHz.

Авторы выражают глубокую благодарность доктору физ.-мат. наук, профессору Ковалеву Н.Ф. за полезные дискуссии на предмет данной работы.

-
1. **Petelin, M.I.** Quasi-optical diffraction grill for excitation of lower-hybrid waves in tokamaks / M.I. Petelin [et al.] // Plasma Phys. Control. Fusion. 1996. 38. P. 593–610.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

A.V. Gromov, E. Kim, C.E. Filchenkov

WAVE SCATTERING ON THE PLANE WAVEGUIDE NONHOMOGENEITIES

Institute of Applied Physics Russian Academy of Science, Nizhny Novgorod

The application of the second kind Fredholm type integral equations method to solution of four mutually adjacent problems on the lattice scattering of plane waves for perfectly conductive rods of arbitrary magnitude and on the wave scattering of planar waveguides for the same rods is considered. This method is of high calculating velocity and it can be used for the rods of arbitrary shape including the ones with integral inner cavities. The single (double) lower potential are used as a solution. Their limit characteristics are well known from potential theory and allows to get the second kind integral equations which solution is correct problem. The separation of Green function analytic singularity give fast convergence for plane waves series. The results of calculation for magnetic waves are presented.

Key words: plane wave diffraction, plane waveguide, boundary integral equation, Green function.

УДК 621.372.8

М.В. Кольцов, Ю.А. Иларионов

ВОЛНА ЗОММЕРФЕЛЬДА E_{00} В ОДНОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ НА КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТАХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Целью статьи является разработка методики решения дисперсионного уравнения для волны Зоммерфельда E_{00} в однопроводной линии в диапазоне частот, где безразмерные поперечные волновые числа внутри и вне проводника велики ($|x| \gg 1$, $|y| \gg 1$).

Предлагается теоретический подход к решению точного дисперсионного уравнения для волны E_{00} , использующий особенности поведения комплексных волновых чисел $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$ в рассматриваемой области частот и приближенные выражения для функций, входящих в дисперсионное уравнение, при больших значениях аргументов.

Разработанная методика применена для расчета основных характеристик волны E_{00} в медном проводнике в диапазоне квазиоптических частот ($f = (30 \div 100)$ ТГц) при различных значениях радиуса провода. В рассмотренном примере расчета нижняя граница терагерцового диапазона соответствует ограничению $|y| \geq 10$, верхняя граница – таким значениям $|y| \gg 10$, при которых возможна появляющаяся зависимость удельной проводимости медного проводника от частоты. Особенно это наблюдается в световом диапазоне частот (сотни терагерц).

Ценность разработанной методики расчета основных характеристик волны E_{00} в однопроводной линии заключается в том, что решение сложного дисперсионного уравнения в комплексных плоскостях аргументов $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$ сведено к решению алгебраического уравнения относительно вспомогательной величины $q = y_2/y_1$ в действительной области $q \geq 0$. Остальные величины через q вычисляются по аналитическим формулам.

Ключевые слова: методика расчета, волна Зоммерфельда, однопроводная линия, квазиоптические частоты.

Методика решения дисперсионного уравнения для волны E_{00} (волны Зоммерфельда) в однопроводной линии с конечной проводимостью, окруженной диэлектриком с потерями, в области частот, где скин-эффект сильный (модуль безразмерного поперечного волнового числа внутри провода $|x| \gg 1$), а модуль безразмерного поперечного волнового числа вне провода $|y| \ll 1$, разработана в [1, 2]. В [1–4] также исследовано влияние на поведение коэффициентов замедления, затухания и волнового сопротивления волны E_{00} параметров линии (радиуса a и удельной проводимости $\tilde{\sigma}_{M1} = 60\lambda\sigma_{M1} = 3,42 \cdot 10^4$ провода) и окружающей среды (относительной диэлектрической проницаемости ϵ_{r2} и удельной проводимости σ_2), приведены результаты исследования распределения электромагнитного поля для волны E_{00} по поперечному сечению в окружающем линию пространстве для медных проводов радиусами $a = 0,5; 1; 2$ мм в диапазоне частот $f = 0,5 - 2$ ТГц.

В работе [5] разработана вторая методика решения дисперсионного уравнения для волны E_{00} в цилиндрическом проводнике с конечной проводимостью ($\sigma_{M1} \neq \infty$) в области частот, где поперечные волновые числа внутри и вне проводника велики ($|x| \gg 1$, $|y| \gg 1$). Это возможно, например, либо в металлических проводниках $\sigma_{M1} = (1, \dots, 6) \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹ малых

размеров ($a = (1, \dots, 50)$ мм) на квазиоптических частотах ($f \geq 30$ ТГц), либо для проводника морская вода ($\sigma_{M1} = (1, \dots, 5)$ (Ом·м)⁻¹) больших размеров ($a = R_3 = 6375$ км) на частотах $f < 1$ МГц. В [5] также приведены результаты расчетов только на крайних частотах диапазона, где $|x| \gg 1, |y| \gg 1$, для проводника-морская вода и $a = R_3$ при одном значении $\sigma_{M1} = 5$ (Ом·м)⁻¹.

Данная работа посвящена расчету комплексных поперечных волновых чисел $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$, коэффициентов замедления $\tilde{\beta}_1$ и затухания β_2 волны Зоммерфельда в медном проводнике в диапазоне квазиоптических частот ($f = (30 - 100)$ ТГц) для нескольких значений радиуса проводника ($a = (5, \dots, 50)$ мм).

Точное дисперсионное уравнение для волн E_{0m} ($m = 0; 1; 2; \dots$) в цилиндрическом проводнике радиуса a с конечной проводимостью σ_{M1} имеет вид [1–5]

$$\dot{\epsilon}_{r1} \frac{F_0(x)}{x^2} = \dot{\epsilon}_{r2} \frac{\Phi_0(y)}{y^2}, \quad (1)$$

где $\dot{\epsilon}_{r1}$ и $\dot{\epsilon}_{r2}$ – комплексные относительные диэлектрические проницаемости проводника и окружающей среды;

$$F_0(x) = -xJ_1(x)/J_0(x), \quad (2)$$

$$\Phi_0(y) = -yH_1^{(1)}(y)/H_0^{(1)}(y), \quad (3)$$

$J_0(x)$ и $J_1(x)$ – функции Бесселя 1-го рода нулевого и первого порядков от комплексного аргумента; $x = x_1 + jx_2$ $H_0^{(1)}(y)$ и $H_1^{(1)}(y)$ – функции Ганкеля 1-го рода нулевого и первого порядков от комплексного аргумента $y = y_1 + jy_2$, где $y_2 > 0$. Только при этом условии все составляющее электромагнитного поля волны E_{0m} на бесконечности обращаются в нуль.

Нормированные поперечные волновые числа внутри ($0 \leq r \leq a$, $0 \leq \phi \leq 2\pi$) и вне ($a \leq r \leq \infty$, $0 \leq \phi \leq 2\pi$) проводника определяются формулами:

$$x = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right) \sqrt{\dot{\epsilon}_{r1} \dot{\mu}_{r1} - \tilde{\beta}^2}, \quad (4)$$

$$y = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right) \sqrt{\dot{\epsilon}_{r2} - \tilde{\beta}^2}, \quad (5)$$

где

$$\dot{\epsilon}_{r1} = \epsilon_{r1} - j \frac{\sigma_{M1}}{\omega \epsilon_0} = \epsilon_{r1} - j\tilde{\sigma}_{M1}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}_{M1} &= \frac{\sigma_{M1}}{\omega \epsilon_0} = 60\lambda\sigma_{M1}, \\ \dot{\mu}_{r1} &= \mu_{r1}, \end{aligned} \quad (7)$$

(магнитные потери не учитываются)

$$\dot{\epsilon}_{r2} = \epsilon_{r2}(1 - j \operatorname{tg} \delta_2) = \epsilon_{r2} - j60\lambda\sigma_2, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{r2} &\geq 1, \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{60\lambda\sigma_2}{\epsilon_{r2}} \geq 0, \\ \dot{\mu}_{r2} &= \mu_{r2} = 1, \end{aligned} \quad (9)$$

λ – длина волны в вакууме, $\tilde{\beta} = \dot{\beta}/k = \dot{\beta} / \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)$ – относительная комплексная постоянная распространения (комплексный коэффициент замедления); $\tilde{\beta} = \tilde{\beta}_1 - j\tilde{\beta}_2$, $\tilde{\beta}_1 \geq 1$, $\tilde{\beta}_2 \geq 0$.

На квазиоптических частотах ($f \geq 30$ ТГц), также, как в диапазоне СВЧ, комплексный аргумент $x = x_1 + jx_2$, где $|x| > 1$, имеет вид [1, 2]:

$$x \approx \frac{a}{\delta}(-1 + j), \quad (10)$$

где величина $\delta = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{\tilde{\sigma}_{M1}\mu_{r1}}}$ есть толщина скин-слоя.

Например, для медного проводника с параметрами $\sigma_{M1} = 5,7 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹, $\mu_{r1} = 1$ на частоте $f = 30$ ТГц ($\lambda = 0,01$ мм) нормированная удельная проводимость $\tilde{\sigma}_{M1} = 60\lambda\sigma_{M1} = 3,42 \cdot 10^4$. Отсюда толщина скин-слоя проводника на частоте $f = 30$ ТГц составляет

$$\delta = \frac{0,01}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{3,42 \cdot 10^4}} \text{ мм} \approx 1,2171 \cdot 10^{-5} \text{ мм}.$$

При $a = 10$ мм получаем

$$\frac{a}{\delta} \approx 8,2163 \cdot 10^5 \gg 1.$$

В отличие от диапазона СВЧ, где комплексный аргумент $y = y_1 + jy_2$ мал ($|y| \ll 1$), на квазиоптических частотах модуль комплексного аргумента y велик ($|y| \gg 1$).

Вводя вспомогательную величину $q = y_2/y_1$, используя приближенные формулы для функции $F_0(y)$ при $|x| \gg 1$ и $\Phi_0(y)$ при $|y| \gg 1$, сводим решение дисперсионного уравнения (1) для волны E_{00} в комплексной плоскости аргументов $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$ к решению алгебраического уравнения относительно q в действительной области $q \geq 0$ для случая $\dot{\varepsilon}_{r2} = 1$ [5]:

$$L_1(q) = \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} + \varepsilon_{r1})}{4 \frac{a}{\delta}}, \quad (11)$$

где

$$L_1(q) = \frac{Q_1(q) - q}{(1 - q^2) + \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} - \varepsilon_{r1})}{(\tilde{\sigma}_{M1} + \varepsilon_{r1})} 2q}, \quad (12)$$

$$Q_1(q) = \frac{2q - \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} - \varepsilon_{r1})}{(\tilde{\sigma}_{M1} + \varepsilon_{r1})} (1 - q^2)}{(1 - q^2) + \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} - \varepsilon_{r1})}{(\tilde{\sigma}_{M1} + \varepsilon_{r1})} 2q}, \quad (13)$$

$a/\delta > 1.$

Задавая параметры проводника ($a, \sigma_{M1}, \mu_{r1}, \varepsilon_{r1}$) и частоту f , из уравнения (11) находим вспомогательную величину q . Действительная и мнимая части поперечного волнового числа x на основании (10) определяются формулами:

$$x_1 \approx -\frac{a}{\delta}, \quad (14)$$

$$x_2 \approx \frac{a}{\delta},$$

где $a/\delta \gg 1$.

Через вычисленную величину q и функцию $Q_1(q)$ действительная и мнимая части поперечного волнового числа y определяются формулами [5]:

$$\begin{aligned} y_1 &\approx \frac{1}{2[Q_1(q) - q]}, \\ y_2 &\approx \frac{q}{2[Q_1(q) - q]}. \end{aligned} \tag{15}$$

Из соотношения (5) при $\epsilon_{r2} = 1$ находим [3, 4] действительную и мнимую части комплексного коэффициента замедления $\tilde{\beta} = \tilde{\beta}_1 - j\tilde{\beta}_2$ ($\tilde{\beta}_1$ – коэффициент замедления, $\tilde{\beta}_2$ – нормированный коэффициент затухания):

$$\begin{aligned} \tilde{\beta}_1 &= \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{T_1^2 + T_2^2} + T_1 \right\}}, \\ \tilde{\beta}_2 &= T_2 / 2\tilde{\beta}_1, \end{aligned} \tag{16}$$

где

$$\begin{aligned} T_1 &= 1 + \frac{(y_2^2 - y_1^2)}{(2\pi a/\lambda)^2}, \\ T_2 &= 1 + \frac{(y_2^2 - y_1^2)}{(2\pi a/\lambda)^2}. \end{aligned} \tag{17}$$

В табл. 1 и на рис. 1 и рис. 2 приведены результаты расчетов по данной методике комплексных поперечных волновых чисел $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$, коэффициента замедления $\tilde{\beta}_1$, нормированного коэффициента затухания $\tilde{\beta}_2$ и коэффициента затухания β_2 волны E_{00} в медном проводнике при различных значениях радиуса в диапазоне квазиоптических частот ($f = (30 \div 100)$ ТГц).

Таблица 1

Значения $x_1, x_2, y_1, y_2, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \beta_2$ для $\sigma_{M1} = 5,7 \cdot 10^{+7}$ (Ом·м)⁻¹; $\mu_{r1} = 1; \epsilon_{r1} = 1$ (медный провод)

| $f, \text{ТГц}$ | x_1 | x_2 | y_1 | y_2 | $\tilde{\beta}_1$ | $\tilde{\beta}_2$ | $\beta_2, 1/\text{м}$ |
|--------------------|-------------|------------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| $a = 5 \text{ мм}$ | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 30 | -4,1082E+05 | 4,1082E+05 | 12,02 | 12,50 | 1 + 5,96E-7 | 1,52E-05 | 9,57 |
| 35 | -4,4373E+05 | 4,4373E+05 | 15,15 | 15,63 | 1 + 5,53E-7 | 1,76E-05 | 12,92 |
| 40 | -4,7437E+05 | 4,7437E+05 | 18,50 | 18,99 | 1 + 5,19E-7 | 2,00E-05 | 16,77 |
| 45 | -5,0315E+05 | 5,0315E+05 | 22,07 | 22,56 | 1 + 4,90E-7 | 2,24E-05 | 21,14 |
| 50 | -5,3036E+05 | 5,3036E+05 | 25,85 | 26,34 | 1 + 4,65E-7 | 2,48E-05 | 26,01 |
| 55 | -5,5625E+05 | 5,5625E+05 | 29,82 | 30,31 | 1 + 4,43E-7 | 2,73E-05 | 31,39 |
| 60 | -5,8098E+05 | 5,8098E+05 | 33,98 | 34,47 | 1 + 4,24E-7 | 2,97E-05 | 37,28 |
| 65 | -6,0471E+05 | 6,0471E+05 | 38,32 | 38,80 | 1 + 4,07E-7 | 3,21E-05 | 43,69 |
| 70 | -6,2753E+05 | 6,2753E+05 | 42,82 | 43,31 | 1 + 3,92E-7 | 3,45E-05 | 50,60 |
| 75 | -6,4956E+05 | 6,4956E+05 | 47,49 | 47,98 | 1 + 3,78E-7 | 3,69E-05 | 58,02 |
| 80 | -6,7086E+05 | 6,7086E+05 | 52,32 | 52,80 | 1 + 3,66E-7 | 3,94E-05 | 65,95 |
| 85 | -6,9151E+05 | 6,9151E+05 | 57,30 | 57,78 | 1 + 3,54E-7 | 4,18E-05 | 74,39 |
| 90 | -7,1156E+05 | 7,1156E+05 | 62,42 | 62,91 | 1 + 3,43E-7 | 4,42E-05 | 83,34 |
| 95 | -7,3105E+05 | 7,3105E+05 | 67,70 | 68,18 | 1 + 3,33E-7 | 4,66E-05 | 92,80 |
| 100 | -7,5004E+05 | 7,5004E+05 | 73,11 | 73,59 | 1 + 3,24E-7 | 4,91E-05 | 102,76 |

Окончание табл. 1

| A = 10 мм | | | | | | | |
|-----------|-------------|------------|--------|--------|-------------|----------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 30 | -8,2163E+05 | 8,2163E+05 | 24,03 | 24,52 | 1 + 3,00E-7 | 1,49E-05 | 9,38 |
| 35 | -8,8747E+05 | 8,8747E+05 | 30,28 | 30,77 | 1 + 2,78E-7 | 1,73E-05 | 12,71 |
| 40 | -9,4874E+05 | 9,4874E+05 | 36,99 | 37,48 | 1 + 2,60E-7 | 1,98E-05 | 16,55 |
| 45 | -1,0063E+06 | 1,0063E+06 | 44,14 | 44,63 | 1 + 2,45E-7 | 2,22E-05 | 20,90 |
| 50 | -1,0607E+06 | 1,0607E+06 | 51,70 | 52,19 | 1 + 2,32E-7 | 2,46E-05 | 25,76 |
| 55 | -1,1125E+06 | 1,1125E+06 | 59,64 | 60,13 | 1 + 2,21E-7 | 2,70E-05 | 31,13 |
| 60 | -1,1620E+06 | 1,1620E+06 | 67,96 | 68,45 | 1 + 2,11E-7 | 2,95E-05 | 37,01 |
| 65 | -1,2094E+06 | 1,2094E+06 | 76,63 | 77,11 | 1 + 2,03E-7 | 3,19E-05 | 43,40 |
| 70 | -1,2551E+06 | 1,2551E+06 | 85,64 | 86,12 | 1 + 1,95E-7 | 3,43E-05 | 50,30 |
| 75 | -1,2991E+06 | 1,2991E+06 | 94,97 | 95,46 | 1 + 1,87E-7 | 3,67E-05 | 57,71 |
| 80 | -1,3417E+06 | 1,3417E+06 | 104,63 | 105,11 | 1 + 1,81E-7 | 3,92E-05 | 65,63 |
| 85 | -1,3830E+06 | 1,3830E+06 | 114,59 | 115,07 | 1 + 1,74E-7 | 4,16E-05 | 74,06 |
| 90 | -1,4231E+06 | 1,4231E+06 | 124,85 | 125,32 | 1 + 1,69E-7 | 4,40E-05 | 83,00 |
| 95 | -1,4621E+06 | 1,4621E+06 | 135,39 | 135,87 | 1 + 1,63E-7 | 4,65E-05 | 92,45 |
| 100 | -1,5001E+06 | 1,5001E+06 | 146,22 | 146,69 | 1 + 1,58E-7 | 4,89E-05 | 102,42 |
| a = 15 мм | | | | | | | |
| 30 | -1,2324E+06 | 1,2324E+06 | 36,04 | 36,53 | 1 + 2,01E-7 | 1,48E-05 | 9,31 |
| 35 | -1,3312E+06 | 1,3312E+06 | 45,42 | 45,91 | 1 + 1,86E-7 | 1,72E-05 | 12,64 |
| 40 | -1,4231E+06 | 1,4231E+06 | 55,49 | 55,98 | 1 + 1,74E-7 | 1,97E-05 | 16,48 |
| 45 | -1,5094E+06 | 1,5094E+06 | 66,21 | 66,70 | 1 + 1,63E-7 | 2,21E-05 | 20,82 |
| 50 | -1,5911E+06 | 1,5911E+06 | 77,54 | 78,03 | 1 + 1,55E-7 | 2,45E-05 | 25,68 |
| 55 | -1,6687E+06 | 1,6687E+06 | 89,46 | 89,95 | 1 + 1,47E-7 | 2,70E-05 | 31,05 |
| 60 | -1,7429E+06 | 1,7429E+06 | 101,93 | 102,42 | 1 + 1,40E-7 | 2,94E-05 | 36,92 |
| 65 | -1,8141E+06 | 1,8141E+06 | 114,94 | 115,42 | 1 + 1,34E-7 | 3,18E-05 | 43,31 |
| 70 | -1,8826E+06 | 1,8826E+06 | 128,45 | 128,93 | 1 + 1,28E-7 | 3,42E-05 | 50,21 |
| 75 | -1,9487E+06 | 1,9487E+06 | 142,46 | 142,94 | 1 + 1,23E-7 | 3,67E-05 | 57,61 |
| 80 | -2,0126E+06 | 2,0126E+06 | 156,94 | 157,41 | 1 + 1,19E-7 | 3,91E-05 | 65,53 |
| 85 | -2,0745E+06 | 2,0745E+06 | 171,88 | 172,35 | 1 + 1,14E-7 | 4,15E-05 | 73,96 |
| 90 | -2,1347E+06 | 2,1347E+06 | 187,27 | 187,73 | 1 + 1,10E-7 | 4,40E-05 | 82,89 |
| 95 | -2,1932E+06 | 2,1932E+06 | 203,09 | 203,55 | 1 + 1,06E-7 | 4,64E-05 | 92,34 |
| 100 | -2,2501E+06 | 2,2501E+06 | 219,33 | 219,79 | 1 + 1,03E-7 | 4,88E-05 | 102,30 |
| a = 50 мм | | | | | | | |
| 30 | -4,1082E+06 | 4,1082E+06 | 120,13 | 120,62 | 1 + 6,00E-8 | 1,47E-05 | 9,22 |
| 35 | -4,4373E+06 | 4,4373E+06 | 151,38 | 151,86 | 1 + 5,52E-8 | 1,71E-05 | 12,54 |
| 40 | -4,7437E+06 | 4,7437E+06 | 184,95 | 185,43 | 1 + 5,13E-8 | 1,95E-05 | 16,37 |
| 45 | -5,0315E+06 | 5,0315E+06 | 220,69 | 221,17 | 1 + 4,79E-8 | 2,20E-05 | 20,72 |
| 50 | -5,3036E+06 | 5,3036E+06 | 258,47 | 258,95 | 1 + 4,50E-8 | 2,44E-05 | 25,57 |
| 55 | -5,5625E+06 | 5,5625E+06 | 298,20 | 298,67 | 1 + 4,24E-8 | 2,68E-05 | 30,93 |
| 60 | -5,8098E+06 | 5,8098E+06 | 339,78 | 340,24 | 1 + 4,00E-8 | 2,93E-05 | 36,80 |
| 65 | -6,0471E+06 | 6,0471E+06 | 383,12 | 383,57 | 1 + 3,78E-8 | 3,17E-05 | 43,18 |
| 70 | -6,2753E+06 | 6,2753E+06 | 428,17 | 428,61 | 1 + 3,57E-8 | 3,42E-05 | 50,07 |
| 75 | -6,4956E+06 | 6,4956E+06 | 474,86 | 475,29 | 1 + 3,38E-8 | 3,66E-05 | 57,47 |
| 80 | -6,7086E+06 | 6,7086E+06 | 523,13 | 523,55 | 1 + 3,19E-8 | 3,90E-05 | 65,38 |
| 85 | -6,9151E+06 | 6,9151E+06 | 572,93 | 573,34 | 1 + 3,01E-8 | 4,15E-05 | 73,81 |
| 90 | -7,1156E+06 | 7,1156E+06 | 624,23 | 624,62 | 1 + 2,84E-8 | 4,39E-05 | 82,74 |
| 95 | -7,3105E+06 | 7,3105E+06 | 676,96 | 677,34 | 1 + 2,67E-8 | 4,63E-05 | 92,18 |
| 100 | -7,5004E+06 | 7,5004E+06 | 731,11 | 731,47 | 1 + 2,50E-8 | 4,88E-05 | 102,14 |

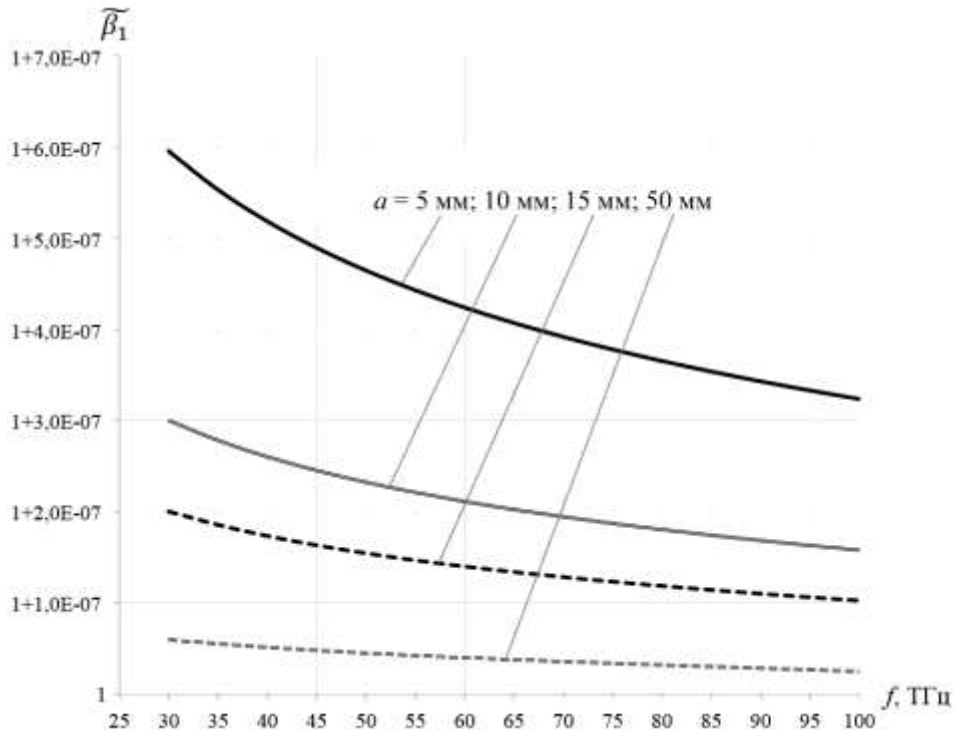


Рис. 1. Зависимость коэффициента замедления от частоты при различных значениях радиуса провода

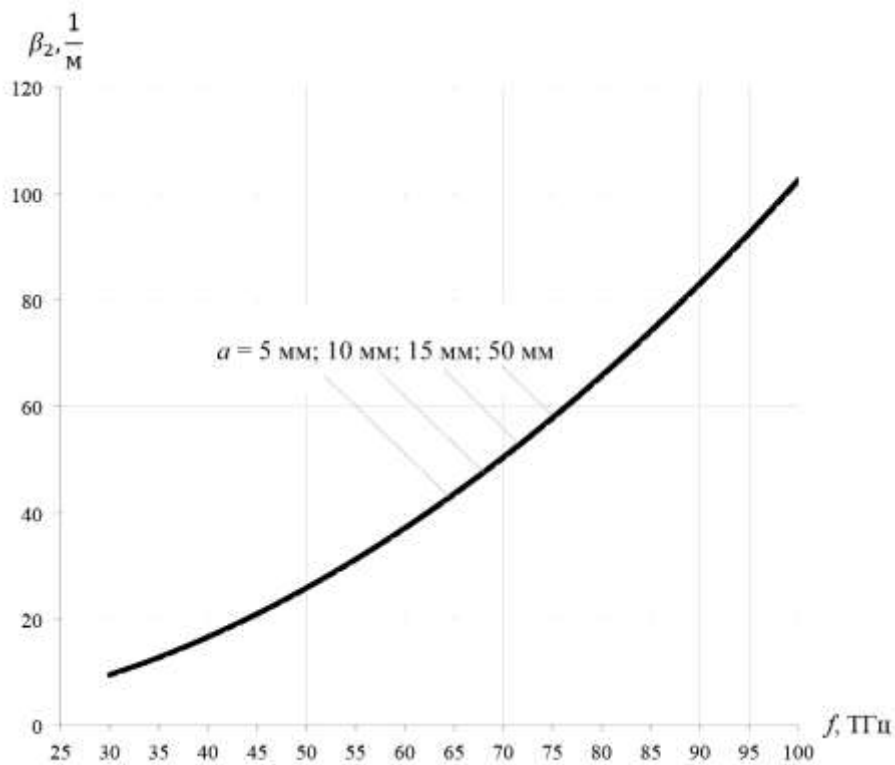


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от частоты при различных значениях радиуса провода

Как видно из табл. 1, в рассматриваемом диапазоне частот модули поперечных волновых чисел внутри проводника равны ($|x_1| = |x_2|$) и велики. Их порядок составляет $10^5 \div 10^6$.

Величины $|x_1|$ и $|x_2|$ тем больше, чем больше радиус провода, и в диапазоне частот монотонно увеличиваются с ростом частоты.

Величины поперечных волновых числе вне проводника также велики ($y_1 \gg 1, y_2 \gg 1$), но их порядок меньше и составляет $10^1 \div 10^2$. В рассматриваемом диапазоне частот ($f = (30 \div 100)$ ТГц) величины y_1 и y_2 также возрастают с ростом частоты, но более резко, чем $|x_1|$ и $|x_2|$.

Анализ численных данных y_1, y_2 , приведенных в табл. 1 для различных значений радиуса проводника и частоты, приводит к приближенным прямым формулам для y_1 и y_2 :

$$y_1 \approx \frac{a}{\delta} \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} + \varepsilon_{r1})}{(\tilde{\sigma}_{M1}^2 + \varepsilon_{r1}^2)}, \quad (18)$$

$$y_2 \approx \frac{a}{\delta} \frac{(\tilde{\sigma}_{M1} - \varepsilon_{r1})}{(\tilde{\sigma}_{M1}^2 + \varepsilon_{r1}^2)} + \frac{1}{2},$$

где $a/\delta \gg 1$. Например, при $a = 10$ мм; $\sigma_{M1} = 5,7 \cdot 10^7$ (Ом·м) $^{-1}$; $\varepsilon_{r1} = 1$; $\mu_{r1} = 1$ и $f = 30$ ТГц из (18) получаем:

$$y_1 \approx 24,025; y_2 \approx 24,524.$$

Эти значения отличаются от аналогичных величин в табл. 1 для $a = 10$ мм при $f = 30$ ТГц на 0,02%.

На рис. 1 и рис. 2 приведены результаты расчетов основных характеристик волны E_{00} (коэффициента замедления $\tilde{\beta}_1$ и коэффициента затухания β_2) в однопроводной линии на квазиоптических частотах для различных значения радиуса медного проводника.

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что зависимости коэффициента замедления от частоты при всех значениях радиуса проводника представляют собой монотонные кривые. При этом коэффициент замедления незначительно отличается от единицы и с ростом частоты в рассматриваемом диапазоне $30 \text{ ТГц} < f \leq 100 \text{ ТГц}$ уменьшается. Во всем рассматриваемом диапазоне частот величина коэффициента замедления и скорость его изменения $d\tilde{\beta}_1/df$ тем меньше, чем больше радиус провода.

Как видно из рис. 2, зависимости коэффициента затухания от частоты при всех значениях радиуса проводника также монотонные, но в отличие от $\tilde{\beta}_1$ влияние радиуса на величину коэффициента затухания β_2 в рассматриваемом диапазоне частот чрезвычайно мало, поэтому кривые $\beta_2(f)$ для значений радиуса $a = (5; 10; 15; 50)$ мм сливаются друг с другом, рис. 2. Малое различие значений коэффициента затухания для различных a можно выявить из табл. 1. При этом наблюдается известная закономерность: чем больше размер проводника (радиус), тем меньше коэффициент затухания в линии.

Таким образом, исследованы основные характеристики (комплексные поперечные волновые числа, коэффициенты замедления и затухания) волны Зоммерфельда (E_{00}) в однопроводной линии на квазиоптических частотах. Установлено, что для медного проводника в диапазоне частот $f = (30 \div 100)$ ТГц радиус провода a оказывает заметное влияние на величину коэффициента замедления, но очень малое влияние на значения коэффициента затухания, даже при десятикратном изменении a .

Библиографический список

1. Об основной электромагнитной волне в однопроводной линии в слабопоглощающей среде / Ю. А. Иларионов и [др.] // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. №2. С. 152–156.
2. **Иларионов, Ю. А.** Методика исследования волн Зоммерфельда в однопроводных направляющих структурах / Ю. А. Иларионов, А. И. Ермолаев // Антенны. 2007. №11. С. 73–85.
3. **Иларионов, Ю. А.** Распределение электромагнитного поля по поперечному сечению для волны E_{00} в однопроводной линии / Ю. А. Иларионов, А. И. Ермолаев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2009. Т. 12. №1. С. 27–33.
4. **Астраханцев, К. Г.** Исследование распределения электромагнитного поля волны E_{00} по поперечному сечению однопроводной линии / К. Г. Астраханцев, А. И. Ермолаев, Ю. А. Иларионов // Антенны. 2011. №1. С. 51–56.
5. **Иларионов, Ю. А.** Волна Зоммерфельда E_{00} в цилиндрическом проводнике большого радиуса / Ю. А. Иларионов, А. И. Ермолаев, А. В. Кукушкин // Радиотехника и электроника. 2012. Т. 57. С. 413–417.

Дата поступления
в редакцию 15.07.2013

M. V. Koltsov, Yu. A. Ilarionov

**SOMMERFELD E_{00} WAVE IN A SINGLE-WIRE LINE
ON QUASI-OPTICAL FREQUENCY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The purpose of the article is development of the method for finding a solution to the dispersion equation for E_{00} wave (Sommerfeld wave) in a single-wire line in the frequency range, where the dimensionless transverse phase coefficients are high ($|x| \gg 1$, $|y| \gg 1$).

Design/methodology/approach: The theoretical approach for finding a solution to the exact dispersion equation for E_{00} wave is proposed. It uses the features of behavior of the complex phase coefficients $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$ in the frequency range considered and the approximate expressions for functions of the dispersion equation for high values of arguments.

Findings: The developed method was applied for calculation of basic characteristics of the E_{00} wave in a copper conductor in the quasi-optical frequency range ($f = (30 \div 100)$ THz) for various value of radius of the conductor.

Research limitations/simplifications: In the case of study considered the low bound on the THz-range meets the limitation $|y| \geq 10$. The high bound corresponds the values $|y| \gg 10$ when an appearing dependence of the conductor conductivity on the frequency is possible. Especially it is observed in the light range (hundreds of THz).

Originality/value: The value of the developed method for calculation the basic characteristics of the E_{00} wave in a single-wire line is that the solution to the sophisticated dispersion equation in complex planes of arguments $x = x_1 + jx_2$, $y = y_1 + jy_2$ is reduced to solution for algebraic equation for the auxiliary quantity $q = y_2/y_1$ in the real region $q \geq 0$. The remaining quantities are calculated through q by the analytical formulas.

Key words: method of calculations, Sommerfeld wave, single-wire line, quasi-optical frequency.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 551.465

Е.Г. Морозов

ВНУТРЕННИЕ ПРИЛИВЫ В БАБ ЭЛЬ МАНДЕБСКОМ ПРОЛИВЕ

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Цель работы: показать характеристики внутренних приливов в малоизученном районе.

Научный подход: исследование основано на статистическом анализе данных измерений.

Результат: наблюдения течений и температуры на буйковых станциях в проливе показывают, что в проливе генерируются интенсивные внутренние волны, смещающие частицы воды по вертикали на 80 м, распространяющиеся на юго-восток в Аденский залив. Внутренние волны развиваются на фоне двухслойного течения. Верхнее течение направлено в Красное море из океана и компенсирует испарение. Нижнее течение (глубже 100 м) вод с высокой соленостью направлено из моря в океан. Режим внутренних волн и течений аналогичен Гибралтарскому проливу.

Применение: исследование вносит вклад в изучение динамики внутренних волн в океане.

Новизна: исследование проведено в малоизученном районе океана.

Ключевые слова: внутренние волны, двухслойное течение, узкий пролив.

Баб эль Мандебский пролив соединяет Красное море с Аденским заливом Индийского океана. Ширина пролива около 30 км. Пролив разделен островом Перим на две части. Восточная часть пролива шириной 3 км мелководная. В самой узкой западной части пролива его ширина около 25 км. Максимальная глубина в районе седловины около 220 м. Гидрологический режим Баб эль Мандебского пролива очень похож на режимы Гибралтарского пролива и пролива Карские Ворота [2, 3]. Характерная особенность - это две струи течения противоположных направлений.

Испарение в Красном море существенно преобладает над осадками и речным стоком (практически нет) [1]. Из-за сильного испарения уровень моря без компенсационного течения из океана понижался бы со скоростью более 50 см в год. Компенсирует испарение течение в верхнем слое из Индийского океана. Испарение увеличивает соленость, и соленая вода опускается в глубинные слои Красного моря. Из-за разности плотностей возникает глубинное течение высокосоленой воды из Красного моря в океан. На эту систему течений накладывается волна баротропного прилива со скоростями около 1 м/с. Баротропный прилив генерирует внутреннюю приливную волну при обтекании течениями неровностей топографии, в особенности над седловиной около острова Перим.

Соленость воды, вытекающей нижним течением из Красного моря близка к 40 епс, тогда как на поверхности моря менее 38 епс. Линзы высокосоленой воды образуются в Аденском заливе при вытекании нижнего течения из Красного моря. Эти линзы регистрируются в северо-западной части Индийского океана.

В этой работе мы рассмотрим систему течений и внутренних приливов в южной части Красного моря и Баб эль Мандебском проливе. В 1995-1996 гг. в проливе был проведен эксперимент по измерению течений на буйках. Карта буев, выставленных в Баб эль Мандебском проливе во время эксперимента, показана на рис. 1. Измерители течений Aandera и Seacat устанавливались на притопленных буйковых станциях, а на дне устанавливались акустиче-

ские доплеровские измерители скорости ADCP, смотрящие вверх. Данные измерений взяты из базы данных эксперимента WOCE (World Ocean Circulation Experiment) свободного доступа. Дискретность данных 1 час.

После обработки данных измерителей течений ADCP получены скорости в слоях толщиной 10 м по всей глубине за исключением верхнего 20-метрового слоя. Поток из океана в Красное море в верхнем слое пролива, который компенсирует испарение, характеризуется скоростями до 40 см/с. Поток обращается в ноль на глубине около 100 м. Нижнее течение из моря в океан характеризуется еще большими скоростями – до 53 см/с и занимает весь слой от глубины 100 м до дна. Максимум скорости находится на глубине 150-160 м. Максимальная глубина пролива в районе седловины близка к 220 м. Надо иметь в виду, что в глубинных слоях ширина пролива уменьшается и на глубине 150 м она равна 8 км. В связи с этим скорость потока в глубинной части выше. Около дна скорость уменьшается. Профиль вертикальной скорости показан на рис. 2.

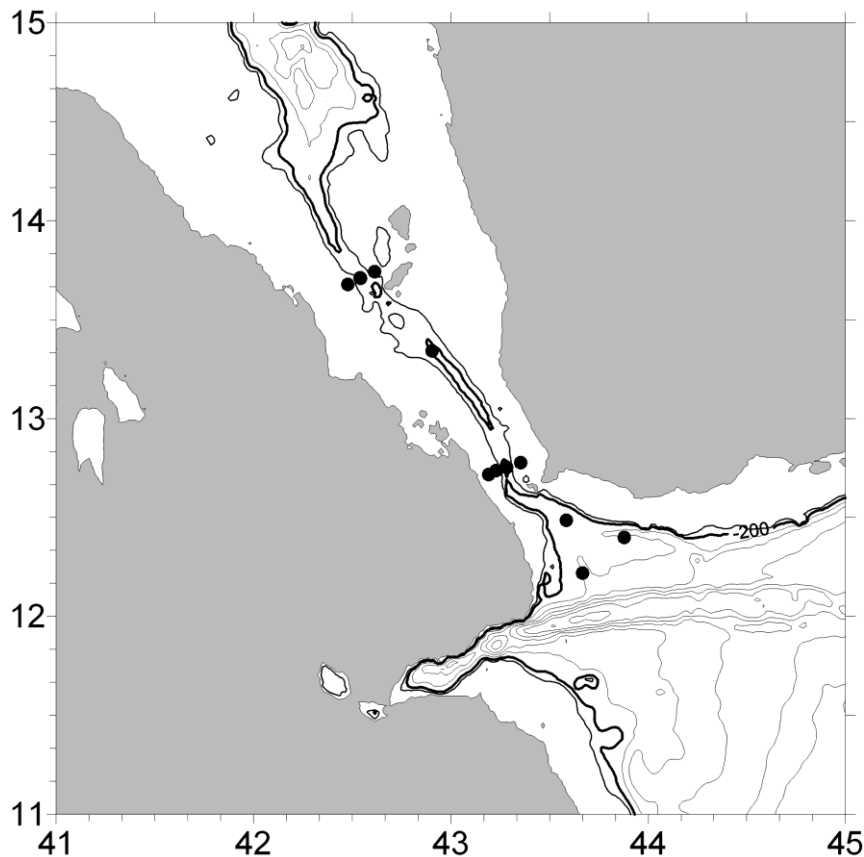


Рис. 1. Карта Баб эл Мандебского пролива. Показаны изобаты 100, 200, 400, 600, 800, 1200 м. Жирной линией выделена изобата 200 м

На спектрах колебаний течений и температуры имеются пики с высокой достоверностью на периодах 24.0 и 12.4 ч. На спектрах температуры появляются обертоны на периодах 8.2 и 6.2 ч. Надо думать, что отклонения периодов от кратных 12.42 ч связаны с эффектом Доплера для внутренних волн, существующих на сильном течении. Спектр флуктуаций температуры для буйковой станции на седловине показан на рис. 3 (горизонт измерений 117 м при глубине 162 м). Амплитуда волн полусуточного периода (вертикальное смещение частиц воды) на седловине около острова Перим (широта 12°30') оценена как 80 м, а на северной группе буев (широта 13°30') как 20 м. Затухание волн аналогично затуханию в Гибралтарском проливе, где на расстоянии около 50 км от хребта их амплитуда уменьшается в три раза.

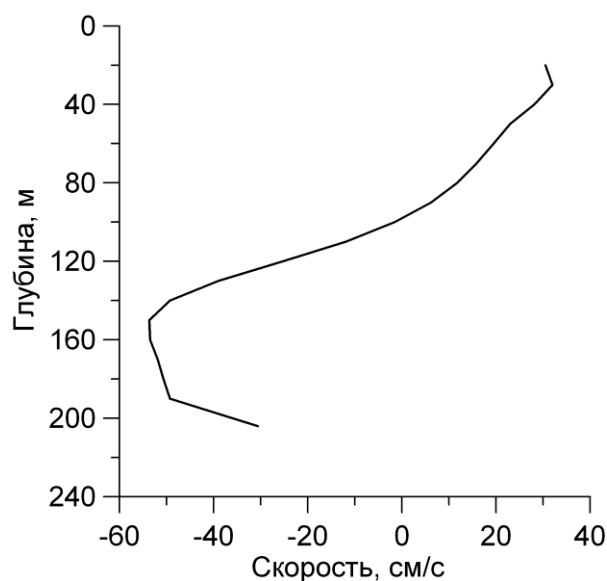


Рис. 2. Профиль течения вдоль пролива. Положительные скорости направлены на северо-запад

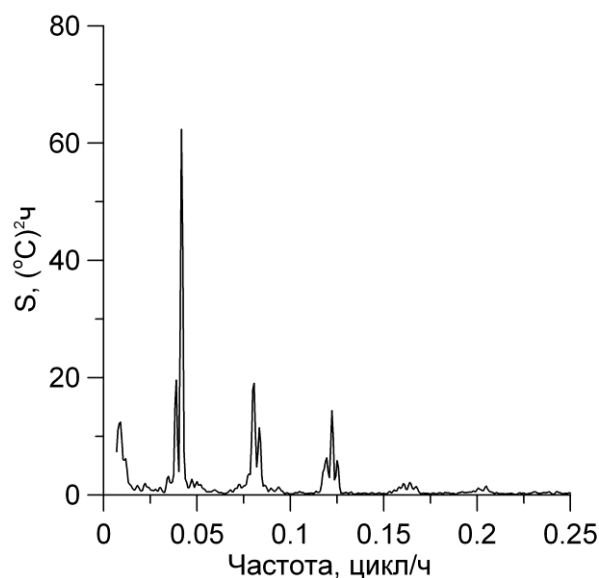


Рис. 3. Спектр колебаний температуры на буйковой станции, расположенной на седловине (широта 12°30' с.ш.), горизонт 117 м, глубина 162 м

Для того, чтобы оценить длину волны полусуточных внутренних волн, использовался антенный метод. Для оценки длины волны и направления полусуточных приливных волн использовался метод Барбера, который был разработан для сейсмологии и применен к океанским волнам [4]. Предполагается произвольное расположение датчиков. Метод основан на расчете взаимных спектров для каждой пары возможных комбинаций датчиков с последующей сверткой на частоте изучаемой волны (период 12.4 ч). Амплитуды и фазы взаимных характеристик используются для расчета пространственно-временного спектра на частоте изучаемой волны для оценки горизонтального волнового числа. Метод использует статистическую разность фаз между каждыми двумя парами датчиков. Для наших расчетов применялись датчики температуры, которые отражают вертикальные движения, связанные с внутренними волнами. Важно, чтобы расстояния между датчиками были сравнимы с длиной волны изучаемых волн, но расстояния между соседними датчиками не были больше длины

волны. Если иначе, то возникает неопределенность в интерпретации разностей фаз. Если расстояние между датчиками слишком мало, а размах антенны буев также мал, то определения длины волны будут неточными. В силу малого числа датчиков, спектр получается недельтообразный, пик спектра, соответствующий волновому числу, оказывается размытым. Поэтому обычно пространственно-временные спектры для определенной частоты представляют в виде изолиний от максимума спектра в процентах.

Расчет производился для треугольника буев в южной части пролива на горизонте измерений около 400 м при глубине океана более 500 м, увеличивающейся на юго-восток. Спектр показан на рис. 4. По данным расчета, направление волн 150° , длина волны 80 км. Эти волны можно интерпретировать как внутренние полусуточные волны, генерированные на седловине подводного хребта между Азией и Африкой в проливе около острова Перим.

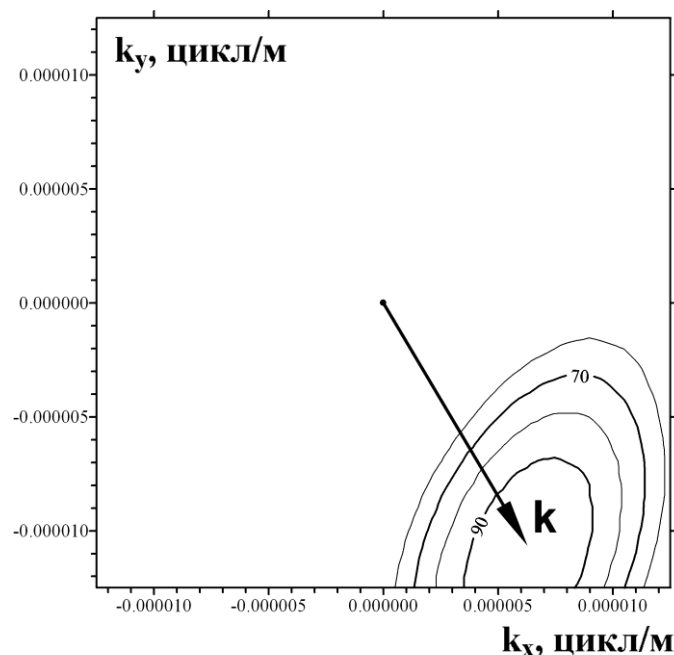


Рис. 4. Сечение пространственно-временного спектра для внутренних волн полусуточной частоты по данным измерений на треугольнике буев в южной части полигона

Таким образом, в результате анализа данных наблюдений течений и температуры на буйковых станциях в проливе показано, что в проливе генерируются интенсивные внутренние волны, смещающие частицы воды по вертикали на 80 м, распространяющиеся на юго-восток в Аденский залив. Внутренние волны развиваются на фоне двухслойного течения. Верхнее течение направлено в Красное море из океана и компенсирует испарение. Нижнее течение (глубже 100 м) вод с высокой соленостью направлено из моря в океан. Режим внутренних волн и течений аналогичен Гибралтарскому проливу.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-08-00076-а.

Библиографический список

1. Добровольский, А.Д. Региональная океанология / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 224 с.
2. Internal tides in the Strait of Gibraltar / E.G. Morozov [et al.] // J. Phys. Oceanogr. 2002. V. 32. P. 3193–3206.
3. The Straits of Gibraltar and Kara Gates: A Comparison of Internal Tides / E.G. Morozov [et al.] // Oceanologica Acta. 2003. V. 26. № 3. P. 231–241.

4. **Barber, N.F.** The directional resolving power of an array of wave detectors / N.F. Barber // Ocean wave spectra. – N.Y.: Engelwood Cliffs, Prentice Hall. 1963. P. 137–150.

*Дата поступления
в редакцию 04.06.2013*

E.G. Morozov

INTERNAL TIDES IN THE BAB EL MANDEB STRAIT

Institute of Oceanology. PP Shirshov Russian Academy of Science

Purpose: Demonstrate the characteristics of internal tides in a poorly studied region.

Scientific approach: The study is based on the statistical analysis of observations.

Results: Observations of currents and temperature on moored stations in the strait demonstrate that intense internal waves are generated in the strait with an amplitude of 80 m. The waves propagate to the southeast into the Aden Gulf. Internal waves develop on the background of a two-layer current. The upper current is directed to the Red sea from the ocean and compensates for evaporation. The lower current (deeper than 100 m) with waters of high salinity is directed from the sea to the ocean. The regime of internal waves and currents is similar to the Strait of Gibraltar.

Applications: The study contributes to the investigation of internal wave dynamics in the ocean.

Originality: The study was carried out in a poorly studied region.

Key words: Internal waves, two-layer current, narrow strait.

УДК 537.86

Н.В. Асеева, Л.Г. Бляхман, К.В. Логвинова, В.В. Тютин

ДИНАМИКА СОЛИТОНОВ В РАСШИРЕННОМ НЕЛИНЕЙНОМ УРАВНЕНИИ ШРЕДИНГЕРА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ИНДУЦИРОВАННЫМ РАССЕЯНИЕМ РАМАНА И ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО УБЫВАЮЩЕЙ ДИСПЕРСИЕЙ

Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики, г. Н. Новгород

Цель работы: рассмотрена динамика солитонов в рамках расширенного нелинейного уравнения Шредингера. Учтено как индуцированное рассеяние высокочастотных волн на затухающих низкочастотных волнах, так и неоднородность линейной дисперсии второго порядка.

Научный подход: исследование проведено как численно, так и аналитически.

Результат: показано, что смещение пространственного спектра солитона в длинноволновую область обусловленного индуцированным рассеянием, компенсируется убывающей дисперсией, смещающей спектр солитона в коротковолновую область. Аналитически в рамках расширенного неоднородного нелинейного уравнения Шредингера найден новый класс стационарных нелинейных локализованных решений (солитонов), возникающих в результате баланса индуцированного рассеяния и убывающей дисперсии. Найден режим динамического равновесия индуцированного рассеяния и неоднородности дисперсии среды, при котором параметры солитона меняются во времени периодически. Для данного режима аналитические результаты согласуются с результатами численного счета.

Новизна: результаты исследования новые и могут иметь приложение для разработки новых поколений оптических волоконных линий связи на базе коротких оптических солитонов.

Ключевые слова: расширенное нелинейное уравнение Шредингера, солитон, индуцированное рассеяние затухающие низкочастотные волны, неоднородность, дисперсия второго порядка, аналитическое исследование, численное моделирование

Введение

Интерес к солитонам обусловлен их способностью сохранять свою форму в течение длительного времени. Солитонные решения возникают во многих задачах моделирования динамики интенсивных волновых полей в диспергирующих средах: оптических импульсов в волоконных линиях связи, электромагнитных волн в плазме, поверхностных волн на глубокой воде [1–4].

Динамика достаточно протяженных высокочастотных (ВЧ) волновых пакетов описывается во втором приближении теории дисперсии нелинейных волн, учитывающем члены второго порядка малости: линейную дисперсию второго порядка и кубичную нелинейность. Основным модельным уравнением этого приближения является нелинейное уравнение Шредингера (НУШ) [5, 6], солитонное решение в котором возникает в результате баланса дисперсионного расплывания пакета и его нелинейного сжатия.

Динамика ВЧ волновых пакетов достаточно малой протяженности описывается третьим приближением этой теории, учитывающим члены третьего порядка малости [1]: нелинейную дисперсию [7], индуцированное рассеяние Рамана [8–10] и линейную дисперсию третьего порядка. Основным модельным уравнением в этом приближении является нелинейное уравнение Шредингера третьего порядка (НУШ-3) [10–14]. Так, в [15–17] в рамках НУШ-3 в пренебрежении индуцированным рассеянием найден класс устойчивых коротких солитонов, возникающих в результате баланса линейной дисперсии третьего порядка и нелинейной дисперсии. В [18] показано, что произвольное начальное распределение в рамках НУШ-3 в пренебрежении индуцированным рассеянием эволюционирует к системе этих коротких солитонов. Впоследствии аналогичные решения в рамках НУШ-3 без индуцированного рассеяния были найдены в [19–23]. В [24, 25] в рамках НУШ-3 без учета линейной дис-

персии третьего порядка найдены стационарные волны перепада, возникающие в результате баланса нелинейной дисперсии и индуцированного рассеяния.

Индуцированное рассеяние Рамана обусловлено возбуждением в атомарных и молекулярных системах временных мод с частотой Ω внешним полем с частотами ω_1 и ω_2 , связанными соотношением $\omega_1 - \omega_2 = \Omega$, и описывается в расширенном НУШ дополнительным слагаемым с временным запаздыванием нелинейного керровского отклика. Для локализованных нелинейных волновых пакетов (солитонов) учет индуцированного рассеяния Рамана приводит к смещению частоты солитона в низкочастотную область [8–10], и, как следствие, к потере его устойчивости и разрушению. Возможность компенсации рамановского сдвига частоты в протяженных линиях связи с переменными частотными характеристиками исследовалась в [26]. Компенсация вынужденного рассеяния Рамана линейным полем излучения из области ядра солитона рассмотрена в [27]. Компенсация рассеяния Рамана в неоднородных средах рассматривалась в следующих случаях: в средах с периодической линейной дисперсией второго порядка [28, 29], в средах со смещаемой точкой перегиба дисперсионной характеристики [30] и в средах с убывающей дисперсией [31].

В данной работе исследована динамика интенсивных ВЧ волновых пакетов в нелинейных неоднородно диспергирующих средах с учетом индуцированного рассеяния на затухающих низкочастотных (НЧ) волнах. В третьем приближении теории дисперсии (для достаточно коротких волновых пакетов) исходная система двух уравнений сведена к неоднородному расширенному НУШ с нелокальным антисимметричным нелинейным керровским откликом, обусловленным индуцированным рассеянием на затухающих НЧ волнах. Это рассеяние приводит к сдвигу пространственного спектра волновых чисел солитона в длинноволновую область, вызванным возбуждением затухающих пространственных мод с волновым числом χ внешним полем с волновыми числами k_1 и k_2 , связанными соотношением $k_1 - k_2 = \chi$: пространственный аналог индуцированного рассеяния Рамана или пространственное индуцированное рассеяние Рамана. С другой стороны, пространственная неоднородность дисперсии также приводит к изменению волнового числа ВЧ пакета. Баланс пространственного индуцированного рассеяния Рамана и убывающей дисперсии приводит к стабилизации пространственного спектра волновых чисел солитона. В данной работе в рамках расширенного неоднородного НУШ с антисимметричным нелинейным керровским откликом аналитически найден новый класс солитонов, возникающий в результате баланса индуцированного рассеяния на затухающих НЧ волнах и убывающей дисперсии. Полученный результат подтвержден в численном эксперименте.

Исходная система и базовое уравнение

Рассмотрим динамику интенсивного ВЧ волнового поля $U(\xi, t)\exp(i\omega t - ik\xi)$ в нелинейной неоднородно диспергирующей среде с учетом взаимодействия с НЧ затухающим волнами. В качестве исходной рассмотрим систему «Захаровского» типа двух модельных однонаправленных нелинейных уравнений [32, 33]:

$$2i \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(q(\xi) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right) - \rho U = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial \xi} - \mu \frac{\partial^2 \rho}{\partial \xi^2} = -\frac{\partial |U|^2}{\partial \xi}, \quad (2)$$

где ρ – НЧ возмущение параметра среды; $q(\xi)$ – линейная дисперсия второго порядка; μ – коэффициент потерь ВЧ волн на НЧ колебаниях. В частности, данная система описывает динамику интенсивных электромагнитных или ленгмюровских волн в изотропной плазме при учете их взаимодействия с затухающими ионно-звуковыми волнами. Так, во втором прибли-

жении теории дисперсии нелинейных волн нелинейный отклик среды локален $\rho = -|U|^2$, а огибающая ВЧ пакета описывается НУШ. В третьем приближении теории дисперсии нелинейных волн при описании достаточно коротких ВЧ волновых пакетов $k\Delta \ll \mu$ (Δ и k – протяженность и добавочное волновое число пакета), нелинейный отклик среды содержит нелокальное несимметричное слагаемое, обусловленное ВЧ затуханием НЧ волн $\rho = -|U|^2 - \mu \partial |U|^2 / \partial \xi$. В этом приближении модельное уравнение для огибающей волнового пакета следующее:

$$2i \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(q(\xi) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right) + 2\alpha U |U|^2 + \mu U \frac{\partial (|U|^2)}{\partial \xi} = 0. \quad (3)$$

Последнее слагаемое в (3) описывает индуцированное рассеяние ВЧ волнового поля на затухающих НЧ волнах и является пространственным аналогом индуцированного рассеяния Рамана (пространственное индуцированное рассеяние Рамана).

Аналитические результаты

Метод интегралов. Уравнение (3) при нулевых условиях на бесконечности $U|_{\xi \rightarrow \pm\infty} \rightarrow 0$ имеет следующие интегралы:

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} |U|^2 d\xi = 0, \quad (4)$$

$$2 \frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} K |U|^2 d\xi = -\mu \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\partial |U|^2}{\partial \xi} \right)^2 d\xi - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial q}{\partial \xi} \left| \frac{\partial U}{\partial \xi} \right|^2 d\xi, \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{\partial U}{\partial \xi} \right|^2 d\xi = -\mu \int_{-\infty}^{\infty} K \left(\frac{\partial |U|^2}{\partial \xi} \right)^2 d\xi + \alpha \int_{-\infty}^{+\infty} K \frac{\partial |U|^4}{\partial \xi} d\xi - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial q}{\partial \xi} K \left(3 \left| \frac{\partial U}{\partial \xi} \right|^2 - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 |U|^2}{\partial \xi^2} - 2K^2 |U|^2 \right) d\xi, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\partial |U|^2}{\partial \xi} \right)^2 d\xi = -2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial^2 |U|^2}{\partial \xi^2} \frac{\partial (qK|U|^2)}{\partial \xi} d\xi, \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{\infty} \xi |U|^2 d\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} qK |U|^2 d\xi, \quad (8)$$

где $U = |U| \exp(i\varphi)$, $K = \partial \varphi / \partial \xi$ – добавочное волновое число пакета. Для замыкания системы (4)–(8) необходимо связать пространственное распределение волнового числа K с параметрами огибающей пакета и неоднородностью среды. Для этого примем масштабы неоднородности дисперсии и локального волнового числа K много большими масштаба неоднородности огибающей волнового пакета $D_{q,K} \gg D_{|U|}$. Это позволяет аппроксимировать пространственное распределение волнового числа K в окрестности «центра масс» волнового

пакета $\bar{\xi} = N^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \xi |U|^2 d\xi$ ($N = \int_{-\infty}^{\infty} |U|^2 d\xi$) линейным соотношением

$K(\xi) = K(\bar{\xi}) + (\partial K / \partial \xi)_{\bar{\xi}} (\xi - \bar{\xi})$. Величину градиента волнового числа в центре «масс» пакета найдем из мнимой части (3) при условии $(\partial |U| / \partial \xi)_{\bar{\xi}} = 0$:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial \xi} \right)_{\bar{\xi}} = - \left(\frac{2}{q|U|} \frac{\partial |U|}{\partial t} + \frac{1}{q} \frac{dq}{d\xi} K \right)_{\bar{\xi}}. \quad (9)$$

Так, для пакетов, амплитуда и протяженность которых связаны солитоноподобным соотношением, с учетом (4) и (9) получим $K(\xi, t) = K(\bar{\xi}, t) \equiv k(t)$. Система (4)–(8) в этом случае становится замкнутой:

$$2 \frac{dk}{dt} = -\mu \frac{L_0}{N_0} l - q'(\bar{\xi})z, \tag{10}$$

$$\frac{dz}{dt} = -\mu \frac{L_0}{N_0} kl - 3kq'(\bar{\xi})z + 2k^3 q'(\bar{\xi}), \tag{11}$$

$$\frac{dl}{dt} = -3kq'(\bar{\xi})l, \tag{12}$$

$$\frac{d\bar{\xi}}{dt} = kq(\bar{\xi}), \tag{13}$$

где $q'(\bar{\xi}) = (\partial q / \partial \xi)_{\bar{\xi}}$ – значение градиента дисперсии в точке «центра масс» пакета;

$n = N / N_0$, $l = L / L_0$, $z = Z / N_0$; $Z \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |\partial U / \partial \xi|^2 d\xi$, $L \equiv \int_{-\infty}^{\infty} (\partial |U|^2 / \partial \xi)^2 d\xi$ – интегралы волнового пакета;

$N_0 = N(0)$, $Z_0 = Z(0)$, $L_0 = L(0)$ – значения интегралов волнового пакета в начальный момент времени. Состояние равновесия системы (10)–(13) достигается при условии

$$k = 0, \mu L_0 = -q'(\bar{\xi}_0)Z_0. \tag{14}$$

В состоянии равновесия пространственное индуцированное рассеяние Рамана компенсируется убывающей дисперсией. Для анализа системы (10)–(13) вне состояния равновесия рассмотрим случай экспоненциальной пространственной зависимости дисперсии $q = q_0 \exp(-\xi / D)$. Используя замены $\theta = tq_0 / D$ и $\eta = \bar{\xi} / D$, система (10)–(13) примет вид

$$2 \frac{dk}{d\theta} = z \exp(-\eta) - rl, \tag{15}$$

$$\frac{dz}{d\theta} = (3z \exp(-\eta) - rl - 2k^2 \exp(-\eta))k, \tag{16}$$

$$\frac{dl}{d\theta} = 3kl \exp(-\eta), \tag{17}$$

$$\frac{d\eta}{d\theta} = k \exp(-\eta), \tag{18}$$

где $r \equiv \mu L_0 D / (q_0 N_0)$. С учетом первого интеграла уравнений (17)–(18) $l = \exp(3\eta)$ система (15)–(18) сводится к виду

$$2 \frac{dk}{d\theta} = z \exp(-\eta) - r \exp(3\eta), \tag{19}$$

$$\frac{dz}{d\theta} = (3z \exp(-\eta) - r \exp(3\eta) - 2k^2 \exp(-\eta))k, \tag{20}$$

$$\frac{d\eta}{d\theta} = k \exp(-\eta). \tag{21}$$

Уравнения (19)–(21) имеют первый интеграл:

$$3 \frac{k^2}{z_0} \exp(-\eta) - \lambda(1 - \exp(3\eta)) + 3 \left(1 - \frac{k_0^2}{z_0}\right) (1 - \exp(\eta)) = 3 \frac{k_0^2}{z_0}, \tag{22}$$

где $k_0 = k(0)$, $\lambda \equiv r / z_0$, $z_0 \equiv Z_0 / N_0$. На рис. 1 приведены кривые (22) на плоскости $(k / \sqrt{z_0}, \eta)$ при $k_0 = 0$ и различных λ .

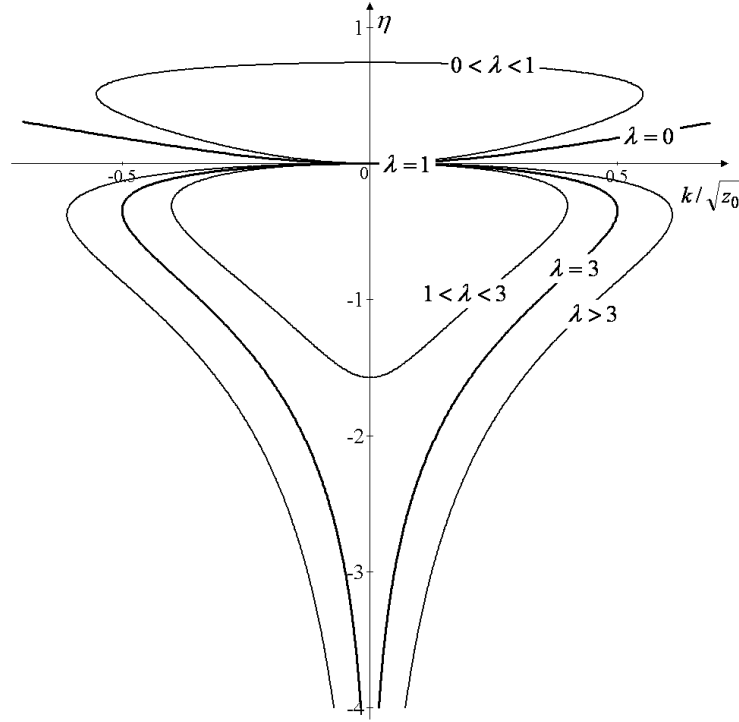


Рис. 1. Кривые (22) на плоскости $(k/\sqrt{z_0}, \eta)$ при $k_0 = 0$ и различных λ

Солитонное решение. Рассмотрим решение уравнения (3) в виде стационарной волны $U(\xi, t) = \psi(\xi)\exp(i\Omega t)$ при экспоненциальном профиле дисперсии $q(\xi) = q_0 \exp(-\xi/D)$:

$$q_0 \exp(-\xi/D) \frac{d^2\psi}{d\xi^2} - \frac{q_0}{D} \exp(-\xi/D) \frac{d\psi}{d\xi} + 2\alpha\psi^3 - 2\Omega\psi + \mu\psi \frac{d(\psi^2)}{d\xi} = 0. \quad (23)$$

Примем масштаб неоднородности дисперсии много большим масштаба огибающей волнового пакета $D \gg L_\psi$. С учетом малости величины $\varepsilon \sim L_\psi/D \sim \mu \ll \alpha, q_0$, решение уравнения (23) будем искать в виде $\psi = \psi_0 + \psi_1$, где $\psi_1 \sim \varepsilon\psi_0 \ll \psi_0$. Удерживая члены порядка ε , имеем

$$q_0 \frac{d^2\psi_0}{d\xi^2} + 2\alpha\psi_0^3 - 2\Omega\psi_0 = 0, \quad (24)$$

$$q_0 \frac{d^2\psi_1}{d\xi^2} + (6\alpha\psi_0^2 - 2\Omega)\psi_1 = \frac{q_0}{D} \frac{d^2\psi_0}{d\xi^2} \xi - \frac{2}{3}\mu \frac{d(\psi_0^3)}{d\xi} + \frac{q_0}{D} \frac{d\psi_0}{d\xi}. \quad (25)$$

Уравнение (24) имеет классическое солитонное решение $\psi_0 = A_0 \operatorname{sech}(\xi/\Delta)$, где $\Delta = \sqrt{q_0/\alpha}/A_0$, $\Omega = \alpha A_0^2/2$. Уравнение (25) при замене $\eta = \xi/\Delta$ и $\Psi = \psi_1 D/(A_0 \Delta)$ имеет вид

$$\frac{d^2\Psi}{d\eta^2} + \left(\frac{6}{\cosh^2 \eta} - 1 \right) \Psi = 2 \frac{\eta}{\cosh^3 \eta} - \frac{\eta}{\cosh \eta} + \frac{5}{4} \frac{\mu}{\mu_*} \frac{\sinh \eta}{\cosh^4 \eta} + \frac{\sinh \eta}{\cosh^2 \eta}, \quad (26)$$

где $\mu_* \equiv -5q_0/(8A_0^2 D)$ - параметр индуцированного рассеяния, отвечающий состоянию равновесия системы (19)–(21). При $\Psi(0) = 0$ уравнение (26) имеет точное решение

$$\Psi(\eta) = \left(\Psi'(0)\eta - \frac{\eta^2}{4} \tanh \eta + \frac{\mu}{4\mu_*} (\tanh \eta) \ln(\cosh \eta) \right) \operatorname{sech} \eta + \frac{1}{12} \left(\frac{\mu}{\mu_*} - 1 \right) (\tanh^2 \eta) \sinh \eta. \quad (27)$$

При $\mu = \mu_*$, отвечающем балансу индуцированного рассеяния и убывающей дисперсии, решение (27) локализовано. Асимптотика (27) в этом случае на больших значениях аргумента следующая $\Psi(\eta \rightarrow \pm\infty) \approx \pm\eta^2 \exp(-|\eta|)$. На рис. 2 показано распределение волнового поля $\Psi(\eta)$ при $\mu = \mu_*$ и различных значений $\Psi'(0)$.

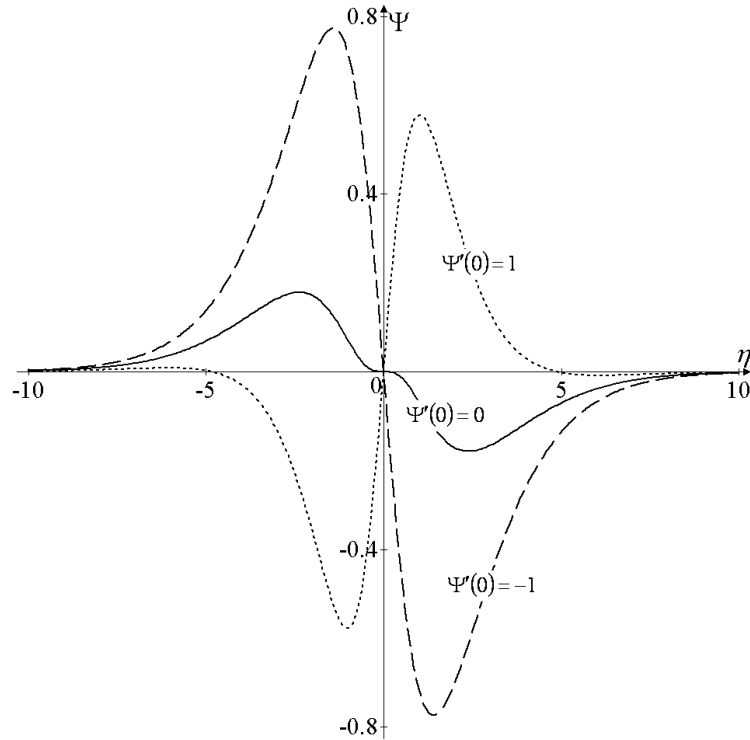


Рис. 2. Распределение $\Psi(\eta)$ при $\mu = \mu_*$ и различных $\Psi'(0)$

Решение $\Psi(\eta)$ антисимметрично. Солитоны с антисимметричными «хвостами» возникают и в хорошо известной системе линейно связанных НУШ [34]. При $\mu \neq \mu_*$ решение (27) не локализовано $|\Psi(\eta \rightarrow \pm\infty)| \rightarrow \infty$.

Численное моделирование

Рассмотрим численно начальную задачу динамики солитоноподобного пакета $U(\xi, t = 0) = \text{sech} \xi$ в рамках (3) при $q(\xi) = \exp(-\xi/10)$, $\alpha = 1$ и различных значениях μ . Величина равновесного значения индуцированного рассеяния для данного начального импульса из аналитического рассмотрения системы (19)–(21) составляет $\mu_* = 1/16$. В численном счете при $\mu = 1/16$ исходный волновой пакет эволюционирует к стационарному локализованному распределению (непрерывная кривая на рис. 3) с нулевым волновым числом. Это распределение близко с аналитическим решением системы уравнений (24)–(25) при $q_0 = \alpha = A_0 = 1$, $D = 10$, $\mu = \mu_*$:

$$|U| = \left(1 + \frac{1}{40} \left((\tanh \xi) \ln(\cosh \xi) - \xi^2 \tanh \xi \right) \right) \text{sech} \xi, \quad (28)$$

представленным на рис. 3 штриховой кривой.

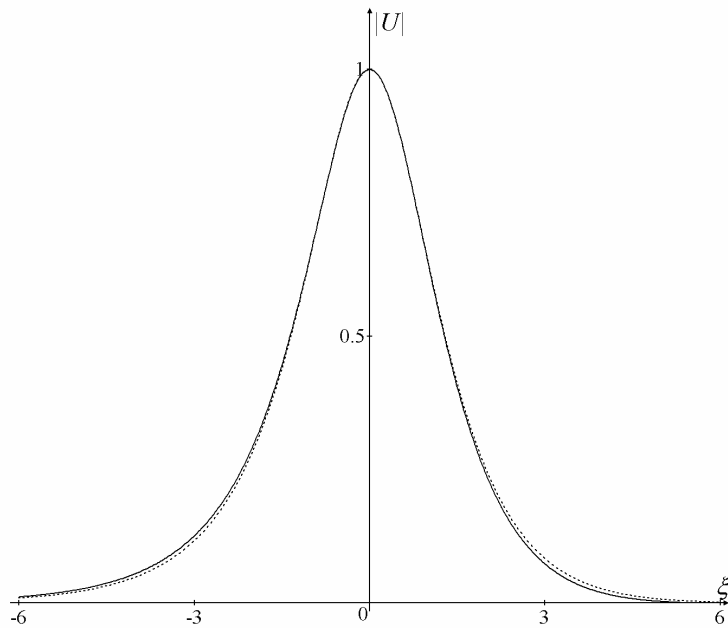


Рис. 3. Распределение $|U|$ по ξ при $5 < t \leq 300$, $\mu = 1/16$.
 Сплошная кривая — численный счет;
 ----- — аналитическое солитонное решение (28)

Отклонение параметра μ от равновесного значения μ_* приводит к изменению параметров солитона (волновое число, амплитуда) во времени. На рис. 4 показано численное моделирование пространственно-временного распределения $|U|$ при $\mu = 1/32$.

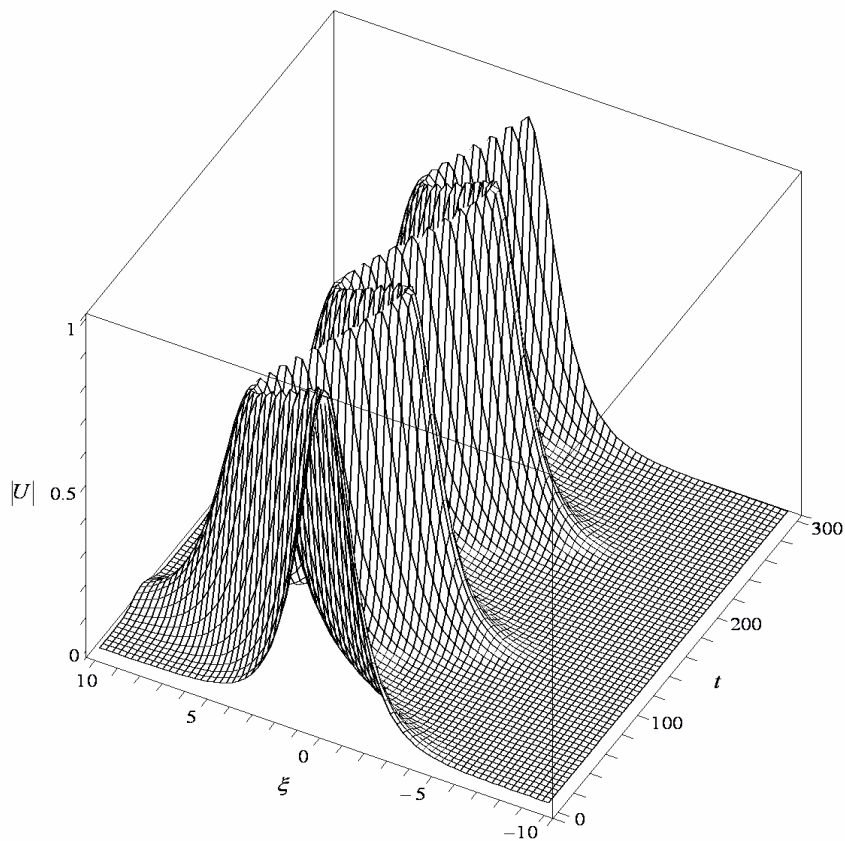


Рис. 4. Пространственно-временное распределение $|U|$ при $\mu = 1/32$.
 (Результат численного моделирования)

На рис. 5 приведена динамика во времени локального волнового числа в точке максимума модуля огибающей волнового пакета при различных значениях μ . Непрерывные кривые отвечают результатам численного счета, пунктирные – аналитическое решение системы (21)–(23) при различных μ .

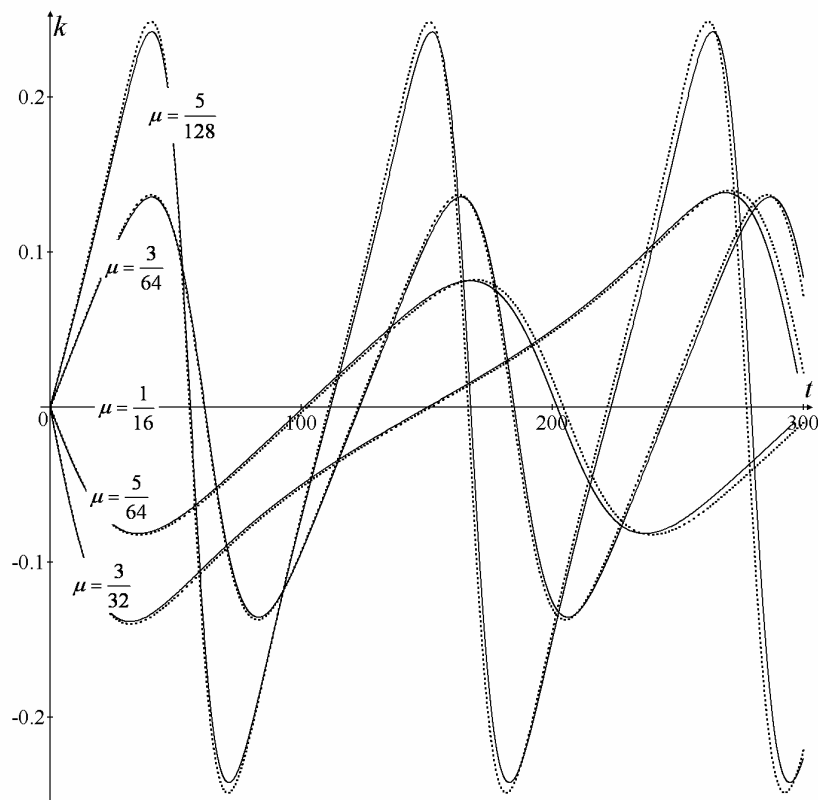


Рис. 5. Изменение волнового числа солитона в центре максимума волнового поля k во времени при различных μ :

----- – аналитический результат; ———— – непрерывные – численный

При $\mu < 3/16$, отвечающем режиму динамического равновесия индуцированного рассеяния и убывающей дисперсии, результаты численного счета и аналитического рассмотрения хорошо соотносятся. При $\mu \geq 3/16$ результаты численного счета и аналитического рассмотрения не совпадают. Это несовпадение обусловлено возникновением в численном счете полей излучения из ядра солитона, что не учитывалось при аналитическом рассмотрении. Поля излучения приводят к уменьшению энергии солитонного ядра и, как следствие, к отклонению значений волнового числа пакета, полученных из численного счета, от значений, полученных решением системы (26)–(27).

Заключение

В данной работе рассмотрена динамика солитонов в рамках расширенного неоднородного уравнения Шредингера с неоднородной дисперсией второго порядка при учете индуцированного рассеяния на затухающих НЧ волнах. Исследование проведено как аналитически, так и численно. Показана возможность баланса пространственного индуцированного рассеяния на затухающих НЧ волнах, приводящего к смещению пространственного спектра волновых чисел солитона в длинноволновую область, и убывающей дисперсии, смещающей спектр солитона в коротковолновую область. В явном виде получено солитонное решение, возникающее в результате этого баланса. Найден режим динамического равновесия индуди-

рованного рассеяния и неоднородной дисперсии, при котором параметры солитона меняются во времени периодически.

Динамика солитонов рассматривалась в пренебрежении неоднородностью кубичной нелинейности, групповой скоростью ВЧ составляющей, нелинейной дисперсией и линейной дисперсии третьего порядка. Исследование динамики солитонов с учетом эффектов, обусловленных данными слагаемыми, будет проведено в следующих работах.

Библиографический список

1. **Agraval, G.P.** Nonlinear Fiber Optic / G.P. Agraval. – San Diego: Academic Press, 2001.
2. **Yang, Y.** Solitons in Field Theory and Nonlinear Analysis / Y. Yang. – New York: Springer, 2001.
3. **Kivshar, Y.S.** Optical Solitons: From Fibers to Photonic Crystals / Y.S. Kivshar, G.P. Agraval. – San Diego: Academic, 2003.
4. **Dickey, L.A.** Soliton Equation and Hamiltonian Systems / L.A. Dickey. – New York: World Scientific, 2005.
5. **Zakharov, V.E.** Exact theory of two-dimensional self-focusing and one-dimensional self-modulation of waves in nonlinear media / V.E. Zakharov, A.B. Shabat // Sov. Phys. JETP. 1972. №34 P. 62–69.
6. **Hasegawa, A.** Transmission of Stationary Nonlinear Optical Physics in Dispersive Dielectric Fibers I: Anomalous Dispersion / A. Hasegawa, F. Tappert // Appl. Phys. Lett. 1973. № 23. P. 142–144.
7. **Oliviera, J.R.** Analytical Solution for the Modified Nonlinear Schrodinger Equation Describing Optical Shock Formation / J.R. Oliveira, M.A. Moura // Phys. Rev. E. 1998. № 57. P. 4751–4755.
8. **Mitschke, F.M.** Discovery of the soliton self-frequency shift / F.M. Mitschke, L.F. Mollenauer // Opt. Lett. 1986. № 11. P. 659–661.
9. **Gordon, J.P.** Theory of the Soliton Self-frequency Shift // Opt. Lett. 1986. № 11. P. 662–664.
10. **Kodama, Y. J.** Optical solitons in a monomode fiber // Stat. Phys. 1985. № 39. P. 597–614.
11. **Kodama, Y.** Nonlinear pulse propagation in a monomode dielectric guide / Y. Kodama, A. Hasegawa // IEEE J. Quantum Electron. 1987. № 23. P. 510–524.
12. **Zaspel C.E.**, Optical Solitary Wave and Shock Solutions of the Higher Order Nonlinear Schrodinger Equation // Phys. Rev. Lett. 1999. № 82. P. 723–726.
13. **Hong, B.** New Jacobi functions solitons for the higher-order nonlinear Schrodinger equation / B.Hong, D. Lu // Inter. Journal of Nonlinear Science. 2009. № 7. P. 360–367.
14. **Karpman, V.I.** The extended third-order nonlinear Schrodinger equation and Galilean transformation // The European Physical Journal B. 2004. № 39. P. 341–350.
15. **Gromov, E.M.** Nonlinear Dynamics of Short Wave Trains in Dispersive Media / E.M. Gromov, V.I. Talanov // Zh. Eksp. Teor. Fiz. 1996. № 110. P. 137; Sov. Phys. JETP. 1996. № 83. P. 73–79.
16. **Gromov, E.M.** Short envelope-solitons (combined nonlinear equation) / E.M. Gromov, V.I. Talanov // Radiophysics and Quantum Electronics. 1996. № 39. P. 735–756.
17. **Gromov, E.M.** Short Optical Solitons in Fibers / E.M. Gromov, V.I. Talanov // Chaos. 2000. № 10. P. 551–558.
18. **Gromov, E.M.** Dynamics of wave packets in the frame of third-order non-linear Schrodinger equation / E.M. Gromov, L.V. Piskunova, V.V. Tyutin // Physics Letters A. 1999. № 256. P. 153–158.
19. **Obregon, M.A.** Oblique magneto-acoustic solitons in a rotating plasma / M.A. Obregon, Yu.A. Stepanyants // Physics Letters A. 1998. № 249. P. 315–323.
20. Generalized nonlinear Schrödinger equation for dispersive susceptibility and permeability: application to negative index materials / M. Scalora [et al.] // Phys. Rev. Lett. 2005. P. 95. P. 013902.
21. Modulation instability in nonlinear negative-index material / S.C. Wen [et al.] // Phys. Rev. E. 2006. № 73. P. 036617.
22. **Marklund, M.** Ultrashort solitons and kinetic effects in nonlinear metamaterials / M. Marklund, P.K. Shukla, L. Stenflo // Phys. Rev. E. 2006. №73. P. 037601.
23. Higher-order effects and ultrashort solitons in left-handed metamaterials / N.L. Tsitsas [et al.] // Phys. Rev. E. 2009. № 79. P. 037601.
24. **Kivshar, Y.S.** Dark-soliton Dynamics and shock waves induced by the stimulated Raman effect in optical fibers // Phys. Rev. A. 1990. № 42. P. 1757–1761.
25. **Kivshar, Y.S.** Raman-induced optical shocks in nonlinear fibers / Y.S. Kivshar, B.A. Malomed // Optics Letters. 1993. № 18. P. 485–487.

26. **Malomed, B.A.** Matching intrapulse self-frequency shift to sliding-frequency filters for transmission of narrow solitons / B.A. Malomed, R.S. Tasgal // Journal of the Optical Society of America B. 1998. № 15. P. 162–170.
27. **Biancalama, F.** Theory of the soliton self-frequency shift compensation by the resonant radiation in photonic crystal fibers / **F. Biancalama, D.V. Skrybin, A.V. Yulin** // Phys. Rev. E. 2004. № 70. P. 011615.
28. **Essiambre, R.-J.** Timing jitter of ultra short solitons in high-speed communication systems. I. General formulation and application to dispersion-decreasing fibers / **R.-J. Essiambre, G.P. Agrawal** // Journal of the Optical Society of America B. 1997. № 14. P. 314–322.
29. **Essiambre, R.-J.** Timing jitter of ultra short solitons in high-speed communication systems. II. Control of jitter by periodic optical phase conjugation / R.-J. Essiambre, G.P. Agrawal // Journal of the Optical Society of America B. 1997. №14. P. 323–330.
30. DDF-based all-fiber optical source of femtosecond pulses smoothly tuned in the telecommunication Range / A. Andrianov [et al.]// Laser Physics. 2007. № 17. P. 1296–1302.
31. Soliton pulse compression in dispersion-decreasing fiber / S. Chernikov [et al.]// Optics Letters. 1993. № 18. P. 476–478.
32. **Zakharov, V.E.** Hamiltonian formalism for hydrodynamic plasma model // Sov. Phys. JETP. 1971. №33. P. 927-932.
33. **Zakharov, V.E.** The Hamiltonian formalism for waves in nonlinear media having dispersion // Radiophysics and Quantum Electronics. 1974. №17. P. 326–343.
34. **Blit, R.** Propagation and collisions of semidiscrete solitons in arrayed and stacked waveguides / R. Blit, B.A.Malomed // Phys. Rev. 2012. A. № 86. P. 043841.

Дата поступления
в редакцию 04.06.2013

N.V. Aseeva, L.G. Blyakhman, K.V. Logvinova, V.V. Tyutin

SOLITON DYNAMICS IN AN EXTENDED NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION WITH A SPATIAL COUNTERPART OF THE STIMULATED RAMAN SCATTERING AND EXPONENTIALLY DECREASING DISPERSION

National research university Higher school of economics

Purpose: Dynamics of solitons is considered in the framework of the extended nonlinear Schrödinger equation (NLSE), which is derived from a system of Zakharov's type for the interaction between high- and low-frequency (HF and LF) waves, in which the LF field is subject to diffusive damping. The model may apply to the propagation of HF waves in plasmas. The resulting NLSE includes a *pseudo-stimulated-Raman-scattering* (PSRS) term, i.e., a spatial-domain counterpart of the SRS term which is well known as an ingredient of the temporal-domain NLSE in optics. Also included is inhomogeneity of the spatial second-order diffraction (SOD).

Approach: Soliton's dynamic investigated as analytically as numerically.

Findings: It is shown that the wavenumber downshift of solitons, caused by the PSRS, may be compensated by an upshift provided by the SOD whose coefficient is an exponential function of the coordinate. An analytical solution for solitons is obtained in an approximate form. Analytical and numerical results agree well, including the predicted balance between the PSRS and the exponentially inhomogeneous SOD.

Key words: Extended Nonlinear Schrödinger Equation, Soliton Solution, Stimulated Scattering; Damping Low-Frequency Waves, Inhomogeneous, Second-Order Dispersion, Analytical Investigation, Numerical Simulation.

УДК 532.59:629.12

С. А. Химич

МЕТОД НЕСТАЦИОНАРНОЙ АНАЛОГИИ В ЗАДАЧЕ О ВОЛНАХ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ НИЗКОЛЕТЯЩИМ КРЫЛОМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается задача о волнах на свободной поверхности тяжелой жидкости под низколетящим крылом, решение которой строится с использованием нестационарной аналогии. Получены простые формулы для вычисления волновой поверхности.

Ключевые слова: гравитационные волны, низколетящее крыло, воздушная подушка, квадрупольная теория крыла.

Проблема волнообразования на поверхности тяжелой жидкости под низколетящим крылом является весьма актуальной, так как возникающие при движении волны могут оказывать значительное влияние на подъемную силу крыла и другие его важные характеристики.

Один из подходов к решению данной проблемы состоит в том, что движение низколетящего крыла над поверхностью жидкости рассматривается как движение по поверхности жидкости компактной области повышенного давления. При этом информация о распределении давления под крылом берется из различных асимптотических теорий [1, 2]. Пространственные задачи о волнах на поверхности тяжелой жидкости под низколетящим крылом в рамках данного подхода рассматривались, например, в [3, 4]. Основные трудности, связанные с этим подходом, состоят в вычислении волновых интегралов с ядром Коши. Задача существенно упрощается, если использовать метод нестационарной аналогии. Термин «нестационарная аналогия» является в какой-то степени синонимом термина «метод плоских сечений». Данный метод состоит в том, что пространственная стационарная задача при определенных условиях заменяется набором плоских нестационарных задач.

Пусть тонкое прямоугольное крыло, имеющее хорду $2a$ и размах $2b$, движется вдоль оси x со скоростью v_0 (рис. 1). Жидкость - невязкая, несжимаемая с гравитационными объёмными силами, занимает область Ω - полупространство $z \leq 0$. В рамках нестационарной аналогии не учитываются пространственные производные по x в уравнениях гидродинамики. Следовательно, при таком подходе распределения скорости и давления в каждом сечении жидкости эволюционируют независимо друг от друга и отличаются лишь временем пролета крыла от одного сечения к другому (роль продольной координаты x в данном приближении играет величина $v_0 \cdot t$). Таким образом, в рамках нестационарной аналогии решается плоская нестационарная задача, в которой фигурируют координаты z, y из Ω и время t из R_1^+ .

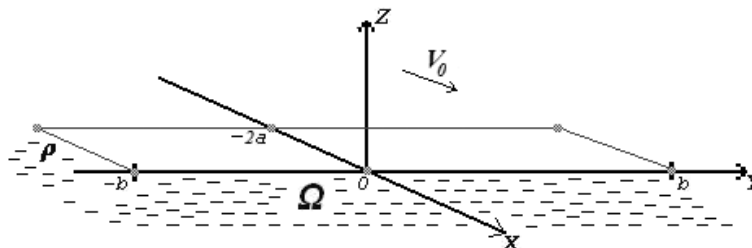


Рис. 1. Постановка задачи

Будем полагать, что движение жидкости потенциальное, то есть в любой точке вектор скорости жидкости может быть определен как градиент скалярной функции $\Phi(y, z, t)$:

$$\vec{V}(y, z, t) = \nabla\Phi(y, z, t) = \frac{\partial\Phi}{\partial y}\vec{i} + \frac{\partial\Phi}{\partial z}\vec{j}.$$

Уравнение неразрывности жидкости [5] приводит к двумерному уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0, \quad \forall(y, z, t) \in \Omega \cup R_1^+. \quad (1)$$

Для того, чтобы получить задачу, описывающую конкретную форму движения жидкости, необходимо к уравнению Лапласа (1) добавить условия на границе области Ω (граничные условия) и условия в момент времени $t = 0$ (начальные условия).

1. Граничные условия на свободной поверхности жидкости:

а) кинематическое условие получается из факта невозможности ухода частицы жидкости со свободной поверхности жидкости. Если уравнение свободной поверхности определить как $z = \eta(y, t)$, то это условие примет вид

$$\frac{\partial\Phi(y, 0, t)}{\partial z} - \frac{\partial\eta(y, t)}{\partial t} = 0, \quad z = 0;$$

б) динамическое условие выражает факт заданности на свободной поверхности давления, определяемого как функция $P(y, t)$. В соответствии с интегралом Лагранжа-Коши уравнений Эйлера получим

$$\frac{\partial\Phi(y, 0, t)}{\partial t} + g\eta(y, t) = -\frac{1}{\rho}P(y, t), \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения; ρ - плотность жидкости.

2. Условия на бесконечности: при $|y| \rightarrow \infty$ или $z \rightarrow -\infty$

$$|\nabla\Phi| \rightarrow 0.$$

3. Начальное условие. Выберем безударный вариант начала движения жидкости.

Данное условие задает тот факт, что в момент времени $t = 0$ свободная поверхность жидкости не возмущена и движения жидкости нет:

$$\Phi(y, 0, 0) = 0; \quad \frac{\partial\Phi(y, 0, 0)}{\partial t} = 0.$$

Таким образом, мы имеем начально – краевую задачу для уравнения Лапласа

$$\begin{cases} \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0 \\ \frac{\partial\Phi}{\partial z} = \frac{\partial\eta}{\partial t}, \quad z = 0, \\ \frac{\partial\Phi}{\partial t} + g \cdot \eta = -\frac{P(y, t)}{\rho}, \quad z = 0, \end{cases} \quad (3)$$

Решим эту задачу, используя преобразование Фурье по координате y . Система (3) переписывается следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2\tilde{\Phi}}{\partial z^2} - k^2\tilde{\Phi} = 0, \\ \frac{\partial\tilde{\Phi}}{\partial z} = \frac{\partial\tilde{\eta}}{\partial t}, \quad z = 0, \\ \frac{\partial\tilde{\Phi}}{\partial t} + g\tilde{\eta} = -\tilde{P}(k, t), \quad z = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где k - переменная Фурье.

Решение первого уравнения системы (4) имеет вид $\tilde{\Phi} = A(k, t) \cdot e^{|k|z}$. Подставим полученное значение $\tilde{\Phi}$ в два оставшихся уравнения системы (4)

$$\begin{cases} |k| \cdot A(k, t) = \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial t}, \\ \frac{\partial A}{\partial t} + g\tilde{\eta} = -\tilde{P}(k, t), \end{cases} \quad (5)$$

Учитывая начальные условия $\eta(0, k) = 0$ и $A(0, k) = 0$, из первого уравнения (5) находим

$A = \frac{1}{|k|} \cdot \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial t}$, а из второго уравнения системы (5) получим

$$\frac{\partial^2 \tilde{\eta}}{\partial t^2} + g|k|\tilde{\eta} = -|k|\tilde{P}(k, t).$$

Используя метод вариации произвольных постоянных, находим отсюда $\tilde{\eta}(k, t)$, а, следовательно, и $A(k, t)$:

$$A(k, t) = -\int_0^t \tilde{P}(k, \tau) \cos(\sqrt{g|k|}(t - \tau)) d\tau.$$

Тогда Фурье образ функции потенциала скорости будет

$$\tilde{\Phi} = -e^{|k|y} \int_0^t \tilde{P}(k, \tau) \cos(\sqrt{g|k|}(t - \tau)) d\tau.$$

Переходя от Фурье образов к оригиналам, получаем выражение для потенциала скорости

$$\Phi(y, z, t) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{|k|z - ik y} \int_0^t \tilde{P}(k, \tau) \cos(\sqrt{g|k|}(t - \tau)) d\tau dk. \quad (6)$$

Рассмотрим два простых случая зависимости давления (в данном случае Фурье образа функции давления) от времени $\tilde{P}(k, t)$:

1) Пусть над поверхностью жидкости движется компактная область повышенного постоянного давления $P_0 = \frac{D}{4ba}$, где D - нагрузка на крыло. Такая форма движения характерна для аппаратов, использующих статическую воздушную подушку или экранопланов с развитыми шайбами на концах крыла. Тогда, если обозначить T – время, за которое крыло пройдет путь, равный хорде $2a$, то функцию давления можно задать формулой

$$P(y, t) = \begin{cases} P_0; & \text{если } -b \leq y \leq b; \quad 0 \leq t \leq T, \\ 0; & \text{если } |y| > b; \quad t > T. \end{cases}$$

Поэтому:

- если $t \leq T$, то

$$\tilde{P}(k, t) = \frac{P_0}{\rho} \int_{-b}^b e^{iky} dy = \frac{P_0}{\rho} \int_{-b}^b (\cos ky + i \sin ky) dy = \frac{2P_0}{\rho} \int_0^b \cos ky dy = \frac{2P_0}{\rho} \cdot \frac{\sin kb}{k};$$

- если $t > T$, то

$$\tilde{P}(k, t) = 0.$$

С учетом этого получим:

- если $t \leq T$, то

$$\Phi(y, z, t) = -\frac{P_0}{\pi \rho} \int_{-\infty}^{\infty} e^{|k|z - ik y} \frac{\sin kb}{k} \int_0^t \cos(\sqrt{g|k|}(t - \tau)) d\tau dk;$$

- если $t > T$, то

$$\Phi(y, z, t) = -\frac{P_0}{\pi\rho} \int_{-\infty}^{\infty} e^{|k|z-iky} \frac{\sin kb}{k} \int_0^T \cos(\sqrt{g|k|}(t-\tau)) d\tau dk.$$

Введем безразмерные переменные. Пусть $y = \bar{y} \cdot 2a$, $z = \bar{z} \cdot 2a$, $t = \bar{t} \frac{2a}{v_0}$, $\Phi = \bar{\Phi} \cdot 2av_0$,

$\bar{k} = k2a$, $\lambda = \frac{b}{a}$, где λ - относительный размах крыла. Удобно также ввести гравитационный

критерий подобия $\omega = \frac{2ga}{v_0^2} = \frac{1}{Fr^2}$, где Fr - число Фруда. Введём, кроме этого, число Фруда

по нагрузке $F_D = \frac{v_0}{\sqrt{g^3 D / \gamma}}$, где γ - удельный вес жидкости. С учетом введенных величин

потенциал скорости равен (черточки над безразмерными величинами далее опущены)

$$\Phi(y, z, t) = \begin{cases} \frac{-P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{|k|z-iky}}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t)}{\sqrt{\omega \cdot |k|}}\right) dk, & 0 \leq t \leq 1, \\ \frac{-P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{|k|z-iky}}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t) - \sin(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot (t-1))}{\sqrt{\omega \cdot |k|}}\right) dk, & t > 1. \end{cases}$$

Теперь определим уравнение свободной поверхности жидкости. Динамическое условие (2) можно переписать следующим образом:

$$g\eta(y, t) = -\frac{\partial\Phi(y, 0, t)}{\partial t} - \frac{P(y, t)}{\rho},$$

тогда, введя безразмерную высоту волны $\bar{\eta} = \frac{\eta}{2a}$, взяв производную по t от найденного по-

тенциала скорости и перейдя к безразмерным величинам, по указанным формулам получим уравнение свободной поверхности жидкости под низколетящим крылом

$$\bar{\eta}(y, t) = -\frac{1}{\omega} \begin{cases} \frac{-2P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \int_0^{\infty} \frac{\cos ky}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \cos(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t) dk + \frac{P(y, t)}{\rho \cdot v_0^2}, & \text{если } 0 \leq t \leq 1; \\ \frac{-2P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \int_0^{\infty} \frac{\cos ky}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot (\cos(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t) - \\ - \cos(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot (t-1))) dk + \frac{P(y, t)}{\rho \cdot v_0^2}, & \text{если } t > 1; \end{cases}, \quad (7)$$

где $P(y, \bar{t}) = \begin{cases} P_0, & 0 \leq t \leq 1, |y| \leq \frac{\lambda}{2}, \\ 0, & t > 1, |y| > \frac{\lambda}{2}. \end{cases}$

По формуле (7) были проведены расчеты волнообразования на поверхности тяжелой жидкости при движении по ней прямоугольной компактной области повышенного давления с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$ и $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 3$, $F_D = 4,163$. Результаты расчетов представлены на рис. 2, рис. 3 соответственно.

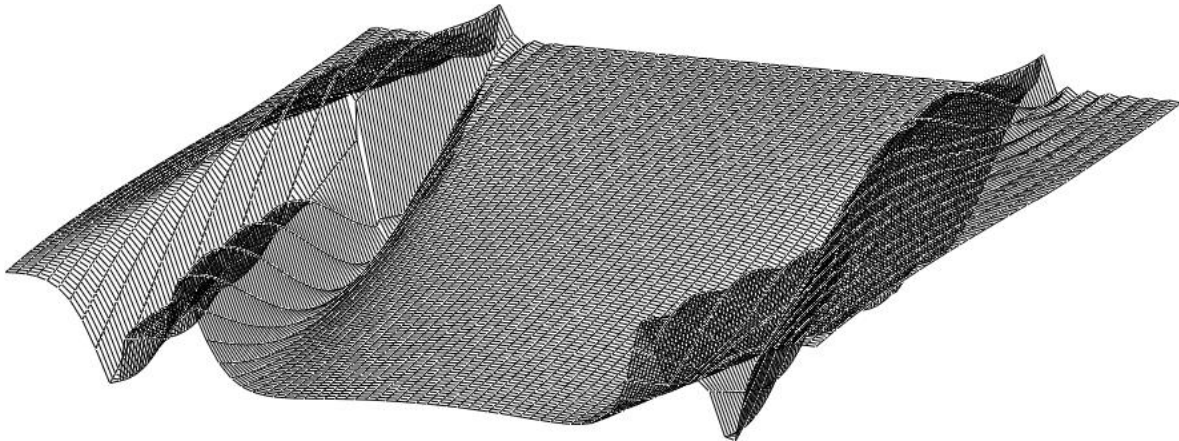


Рис. 2. Форма свободной поверхности жидкости при движении по ней компактной области повышенного давления с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$

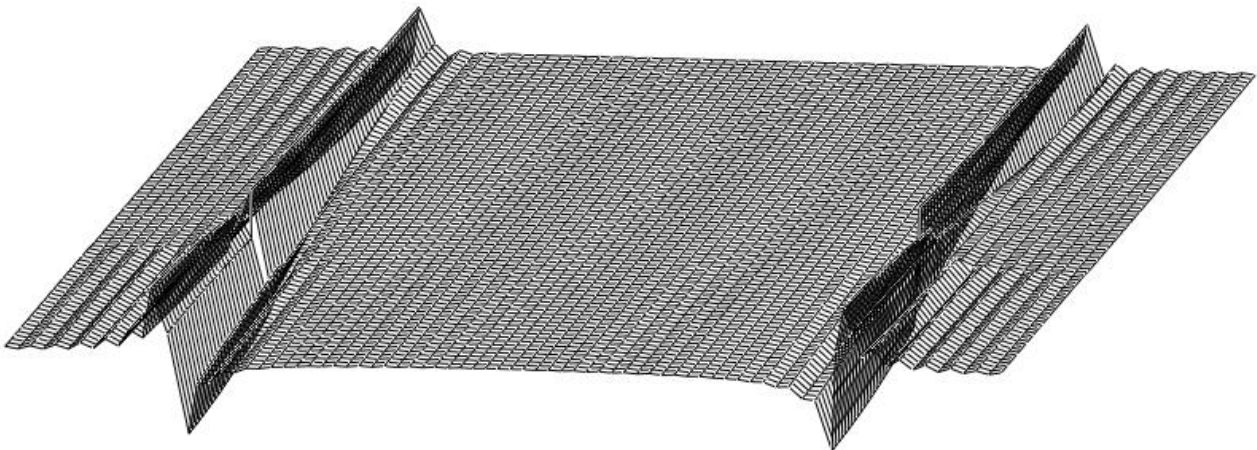


Рис. 3. Форма свободной поверхности жидкости при движении по ней компактной области повышенного давления с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 3$, $F_D = 4,163$

2) Возьмём в качестве первого приближения форму распределения давления под низколетящим крылом, движущимся над твёрдой поверхностью, близкую к треугольной. К такой форме приводят первые приближения квадрупольной теории крыла [1] и метода сращиваемых асимптотических разложений [2]. Пусть давление под низколетящим крылом имеет треугольную форму эпюры. Тогда, если обозначить T – время, за которое крыло пройдет путь, равный хорде $2a$, то функцию давления можно задать формулой

$$P(y,t) = \begin{cases} 2P_0\varphi(t); & \text{если } -b \leq y \leq b; 0 \leq t \leq T, \\ 0; & \text{если } |y| > b; t > T. \end{cases}$$

При этом P_0 определяется, как и в (7), а функция $\varphi(t)$ имеет вид

$$\varphi(t) = 1 - \frac{t}{T}, \tag{8}$$

где $T = \frac{2a}{v_0}$.

Поэтому:

- если $t \leq T$, то

$$\tilde{P}(k,t) = \frac{2P_0 \cdot \varphi(t)}{\rho} \cdot \int_{-b}^b e^{iky} dy = \frac{2P_0 \varphi(t)}{\rho} \cdot \int_{-b}^b (\cos ky + i \sin ky) dy = \frac{4P_0 \cdot \varphi(t)}{\rho} \cdot \int_0^b \cos ky dy = \frac{4P_0 \cdot \varphi(t)}{\rho} \cdot \frac{\sin kb}{k}$$

- если $t > T$, то

$$\tilde{P}(k,t) = 0.$$

С учетом (8) подставим $\tilde{P}(k,t)$ в (6). В результате получим:

- если $t \leq T$, то

$$\Phi(y,z,t) = -\frac{2P_0}{\pi\rho} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{|k|z-iky} \cdot \frac{\sin kb}{k} \cdot \int_0^t \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \cdot \cos(\sqrt{g|k|} \cdot (t-\tau)) d\tau dk;$$

- если $t > T$, то

$$\Phi(y,z,t) = -\frac{2P_0}{\pi\rho} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{|k|z-iky} \cdot \frac{\sin kb}{k} \cdot \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \cdot \cos(\sqrt{g|k|} \cdot (t-\tau)) d\tau dk.$$

Введем безразмерные величины так, как это было сделано выше. С учетом введенных величин потенциал скорости равен (черточки над безразмерными величинами далее опущены)

$$\Phi(y,z,t) = \begin{cases} \frac{-2P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{|k|z-iky}}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t)}{\sqrt{\omega \cdot |k|}} - \frac{1 - \cos(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t)}{(\sqrt{\omega \cdot |k|})^2}\right) dk, & 0 \leq t \leq 1, \\ \frac{-2P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{|k|z-iky}}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t)}{\sqrt{\omega \cdot |k|}} - \frac{\cos(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot (t-1))}{(\sqrt{\omega \cdot |k|})^2} + \frac{\cos(\sqrt{\omega \cdot |k|} \cdot t)}{(\sqrt{\omega \cdot |k|})^2}\right) dk, & t > 1. \end{cases}$$

Далее, действуя таким же образом, как и в первом случае, получим уравнение свободной поверхности жидкости под низколетящим крылом

$$\bar{\eta}(y,t) = -\frac{1}{\omega} \begin{cases} \frac{-4P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\cos ky}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot \left(\cos(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t) - \frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t)}{\sqrt{\omega \cdot k}}\right) dk + \\ + \frac{P(y,t)}{\rho \cdot v_0^2}, \text{ если } 0 \leq t \leq 1; \\ \frac{-4P_0}{\pi \cdot \rho \cdot v_0^2} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\cos ky}{k} \cdot \sin\left(\frac{k\lambda}{2}\right) \cdot (\cos(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t) + \\ + \frac{\sin(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot (t-1)) - \sin(\sqrt{\omega \cdot k} \cdot t)}{\sqrt{\omega \cdot k}}) dk + \frac{P(y,t)}{\rho \cdot v_0^2}, \text{ если } t > 1; \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } P(y,t) = \begin{cases} 2P_0(1-t), & 0 \leq t \leq 1, |y| \leq \frac{\lambda}{2}, \\ 0, & t > 1, |y| > \frac{\lambda}{2}. \end{cases}$$

По формуле (9) были проведены расчеты волнообразования на поверхности тяжелой жидкости при движении по ней крыла с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$ и $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 3$, $F_D = 4,163$. Результаты расчетов представлены на рис. 4, рис. 5 соответственно.

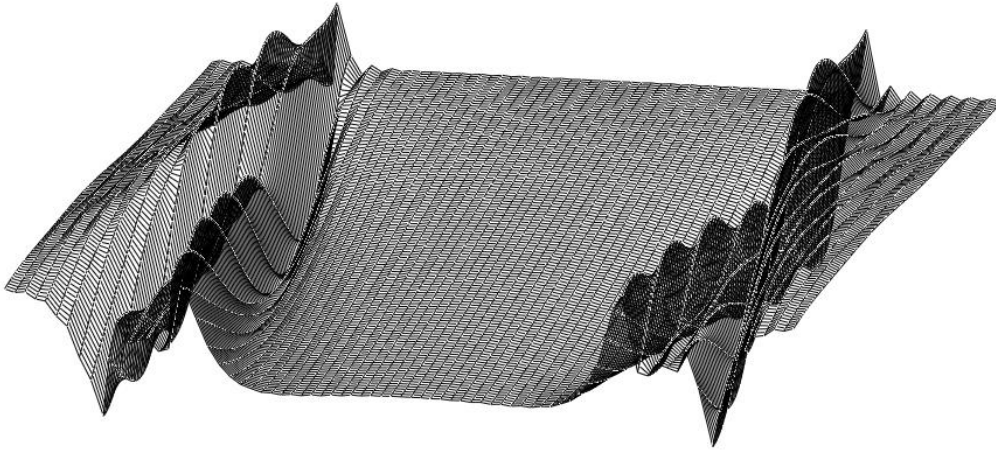


Рис. 4. Форма свободной поверхности жидкости при движении по ней низколетящего крыла с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$

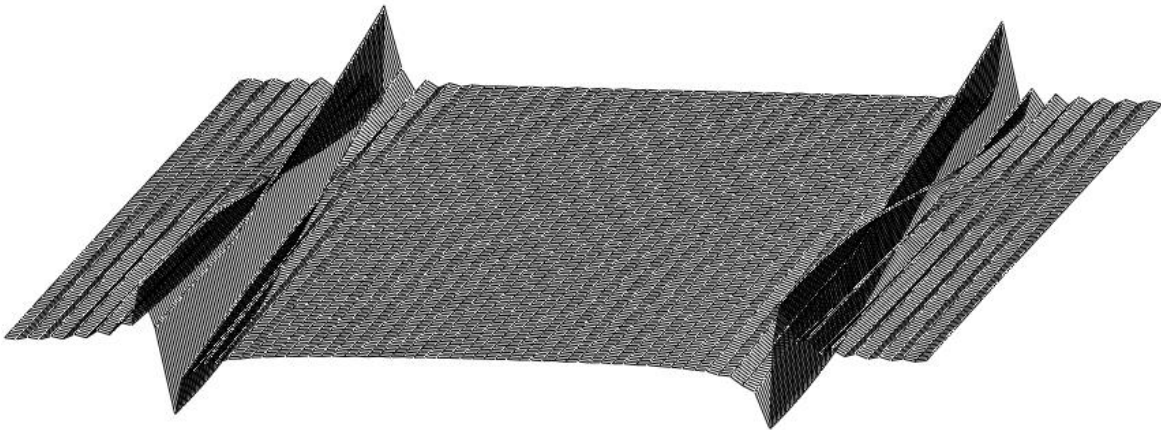


Рис. 5. Форма свободной поверхности жидкости при движении по ней низколетящего крыла с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 3$, $F_D = 4,163$

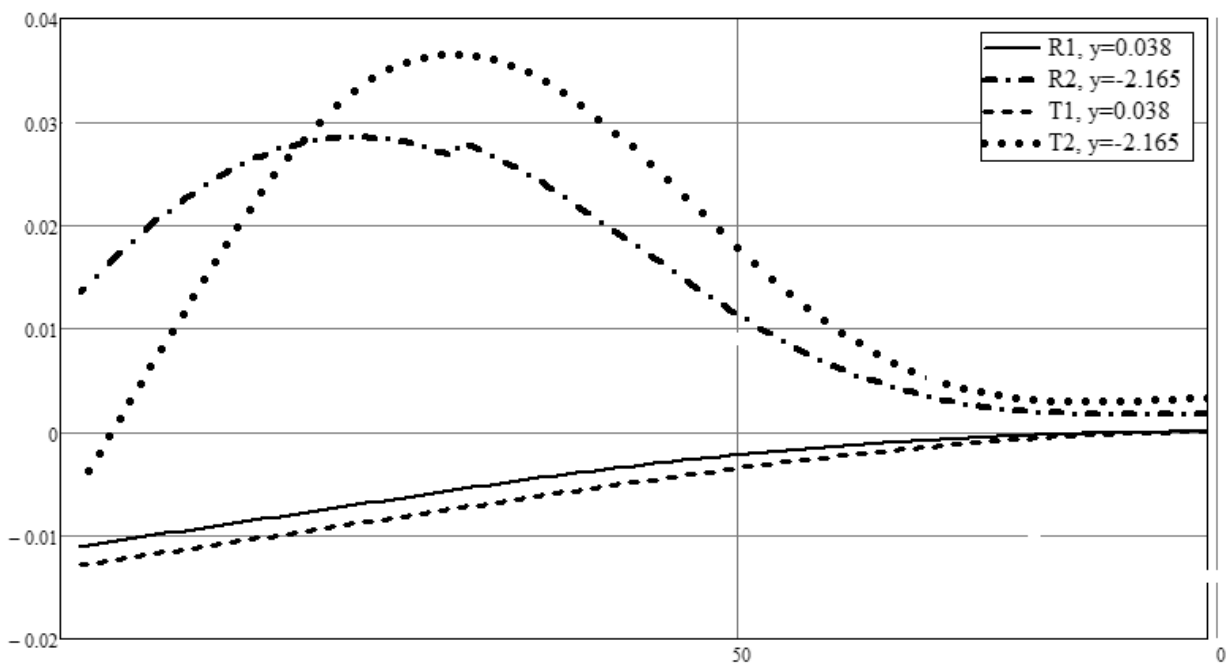


Рис. 6. Сравнение форм свободной поверхности жидкости в диаметральной плоскости ($R1$, $T1$) и под кромками ($R2$, $T2$) крыла с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$ для двух типов распределения давления

На рис. 6 показано сравнение форм свободной поверхности жидкости в точках $y = 0,038$ и $y = -2,165$ низколетящего крыла с параметрами $P_0 = 350$, $\lambda = 4$, $Fr = 1$, $F_D = 1,388$ для двух типов распределения давления под крылом - равномерного (кривые R_1 и R_2) и треугольного (кривые T_1 и T_2).

В рассмотренной модели волнообразования под низколетящим крылом отсутствует видимая связь с параметрами геометрии объекта – относительным отстоянием от экрана и углом атаки крыла, так как нагрузка на крыло фиксирована. В этом случае основным критерием волнообразования становится число Фруда по нагрузке (по «водоизмещению»). Явная зависимость волнообразования (и связанные с ним параметры «мореходности») от геометрии объекта могут быть получены в итерационном процессе корректировки местных отстояний с учётом волнообразования в задаче квадрупольной теории крыла [1], [4]. Также из-за того, что распределения скорости и давления в каждом сечении жидкости эволюционируют независимо друг от друга, то не учитывается взаимодействие сечений жидкости между собой и перетекание жидкости по продольной координате.

В рамках нестационарной аналогии удалось получить простые быстроработающие формулы расчета волновой поверхности под крылом конечного размаха, которые могут быть использованы в итерационном процессе расчёта элементов гидроаэродинамики объектов, использующих статическую или динамическую воздушную подушку.

Библиографический список

1. **Панченков А. Н.** Квадрупольная теория крыла вблизи твердой границы / А. Н. Панченков // Асимптотические методы в динамике систем. – Новосибирск: Наука, 1980. С. 5–116.
2. **Рождественский, К. В.** Метод сращиваемых асимптотических разложений в гидродинамике крыла / К. В. Рождественский. – Л.: Судостроение, 1979. – 208 с.
3. **Орлов, Ю. Ф.** Потенциал ускорений в гидродинамике корабельных волн / Ю. Ф. Орлов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 214 с.
4. **Орлов Ю. Ф.** Алгоритмы расчета формы свободной поверхности тяжелой жидкости под низколетящим крылом / Ю.Ф. Орлов // Асимптотические методы в механике. – Новосибирск: Наука, 1983.
5. **Ландау, Л. Д.** Теоретическая физика: учеб. пособие: В 10 т. Гидродинамика. – 3-е изд., перераб. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986. Т. VI. – 736 с.

Дата поступления
в редакцию 04.06.2013

S. A. Khimich

THE METHOD OF NON-STATIONARY ANALOGY IN THE PROBLEM OF THE WAVES ON THE SURFACE OF A HEAVY LIQUID UNDER LOW-FLYING WING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The goal of this study is to simplify three-dimensional problem of the motion of compact domain of increased pressure on the surface of a heavy liquid using the method of non-stationary analogy.

Approach: The main idea is to replace three-dimensional stationary problem of the motion of compact domain of increased pressure on the surface of a heavy liquid by the set of two-dimensional non-stationary problems. Further, the set of two-dimensional non-stationary problems is solved using Fourier method.

Findings: Simple formulas for wave surface calculation were obtained. The calculations of wave surface were performed using these formulas for two cases of pressure distribution: the uniform distribution and the triangular distribution.

Originality: The obtained results are original. It may be useful in the development of hovercrafts.

Key words: gravity waves, low-flying wing, air cushion, the quadrupole theory of wing.

УДК 517.9

Д.Е. Пелиновский^{1,2}, А.Р. Гиниятуллин², Ю.А. Панфилова²,
Е.Г. Шургалина², А.А. Родин²

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ УЕДИНЕННЫХ ВОЛН В ЗЕРНИСТЫХ КРИСТАЛЛАХ

Департамент математики и статистики, Университет МакМастера, Гамильтон, Канада¹
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Цель работы: исследовать динамику зернистых цепочек с сильно нелинейными потенциалами. Получить новую модификацию уравнения Кортевега – де Вриза, характеризующегося логарифмическими нелинейностями. Найти семейство его точных решений в виде Гауссовых уединенных волн и доказать их устойчивость.

Научный подход: исследование проведено как аналитически, так и численно.

Результат: из дискретного уравнения Ферми – Паста – Улама с сильно нелинейными потенциалами Герца получено уравнение Кортевега – де Вриза с логарифмической нелинейностью. Показано, что Гауссовы локализованные решения уравнения Кортевега-де Вриза дают аналитические аппроксимации сильно локализованных уединенных волн в зернистых цепочках. Ошибка аналитических аппроксимаций контролируется в пространствах с быстрым затуханием на бесконечности. Доказана спектральная устойчивость Гауссовых локализованных решений в рамках уравнения Кортевега – де Вриза. Показано также, что модели типа Буссинеска с компактными решениями, ранее выведенные формально в физической литературе, являются сильно неустойчивыми и плохо обусловленными по отношению к временной динамике, а их применение сильно ограничено в задачах, связанных с уединенными волнами в зернистых цепочках.

Новизна: результаты исследования могут иметь приложение для анализа отклика зернистой среды различной природы на локализованное воздействие.

Ключевые слова: логарифмическое уравнение Кортевега-де Вриза, уединенные волны Гауссовой формы, дискретное уравнение Ферми-Паста-Улама, спектральная устойчивость.

Введение

Задача анализа отклика нелинейной решетки на локализованное возмущение возникает во многих приложениях таких, как исследование волн напряжения в зернистой среде после воздействия [41, 43], возбуждения нелинейных колебаний в кристаллах под бомбардировкой атомами [10, 11], или отклик нелинейной линии передачи импульсного напряжения [3]. Некоторые важные динамические явления могут быть объяснены с помощью модели Ферми-Паста-Улама (ФПУ) [8, 19] состоящей из цепочки связанных частиц с потенциалом парного взаимодействия V . Динамические уравнения для пространственно однородной ФПУ-цепочки имеют вид

$$\frac{d^2 x_n}{dt^2} = V'(x_{n+1} - x_n) - V'(x_n - x_{n-1}), \quad n \in \mathbf{Z}, \quad (1)$$

где $x_n(t) \in \mathbf{R}$ является смещением n -й частицы от равновесия. Систему (1) можно переписать в терминах относительных смещений $u_n = x_n - x_{n-1}$ и скоростей частиц $p_n = \dot{x}_n$ следующим образом:

$$\frac{du_n}{dt} = p_n - p_{n-1}, \quad \frac{dp_n}{dt} = V'(u_{n+1}) - V'(u_n), \quad n \in \mathbf{Z}. \quad (2)$$

Динамическая эволюция локализованных решений (2) сильно зависит от свойств потенциала взаимодействия V . В самой общей форме потенциал взаимодействия удовлетворяет условиям:

$$V \in C^2(\mathbf{R}), \quad V'(x) = \kappa x + O(|x|^\alpha), \quad (3)$$

где $\alpha > 1$ и $\kappa \geq 0$.

В работе [36], дисперсионная устойчивость нулевого состояния равновесия доказана для $\kappa > 0$ и $\alpha > 4$, т.е. при достаточно слабой нелинейности вблизи начала координат. Конкретнее, амплитуда (т.е. норма супремума) решения ФПУ-решетки (2) стремится к нулю при $t \rightarrow +\infty$ для всех начальных условий достаточно малых в l^1 , где l^1 обозначает классическое банахово пространство бесконечно суммируемых последовательностей.

Напротив, во многих ситуациях нелинейные эффекты достаточно сильны, чтобы компенсировать дисперсию, что дает существование когерентных локализованных решений ФПУ-решетки (2) таких, как уединенные волны, распространяющиеся с постоянной скоростью, или периодические по времени бризеры (см. [44] и ссылки в ней). Первое доказательство существования уединенных волн в общем классе ФПУ-решеток было развито в [18], когда V имеет локальный минимум в начале координат и является сверхквадратичной на одной стороне. Кроме того, существование уединенных волн вблизи так называемого предела длинной волны было установлено в [14, 25] для гладкого (C^3) потенциала V . Точнее, для $\kappa > 0$ и $V'''(0) \neq 0$ (т.е. $\alpha = 2$ в (3)), существует семейство уединенных волн с малой амплитудой, параметризованной скоростью $c \geq c_s := \sqrt{\kappa}$, где c_s определяет «звуковую скорость» линейных волн. Эти решения принимают форму

$$u_n(t) = \kappa(4V'''(0))^{-1} \varepsilon^2 z(\varepsilon(n - ct)) + \text{члены более высокого порядка},$$

где $\varepsilon = \sqrt{24(c - c_s)/c_s}$ и $z(\eta) = \operatorname{sech}^2(\eta/2)$. В частности, эти уединенные волны затухают в пространстве экспоненциально и становятся широкими в пределе малой амплитуды. Такие волны описываются с помощью разложения:

$$u_n(t) = \kappa(4V'''(0))^{-1} \varepsilon^2 y(\xi, \tau) + \text{члены более высокого порядка}, \quad (4)$$

где $\xi := \varepsilon(n - c_s t)$, $\tau := \varepsilon^2 c_s t / 24$ и $y(\xi, \tau) := z(\xi - \tau)$ является уединенной волной уравнения Кортевега-де Вриза (КдВ):

$$\partial_\tau y + 3y \partial_\xi y + \partial_\xi^3 y = 0. \quad (5)$$

В более общем случае решения $y: \mathbf{R} \times [0, T] \rightarrow \mathbf{R}$ уравнения КдВ (5) дают решения ФПУ-системы в форме (4), действительные на шкале времени $\mathcal{O}(\varepsilon^{-3})$ [6, 30, 48]. На самом деле, еще более общий случай, действительный для $\alpha \geq 2$ доказан в [48], что приводит к обобщенному уравнению КдВ, где квадратичный член заменяется y^α -нелинейностью. Кроме того, нелинейная устойчивость уединенных волн малой амплитуды была доказана в [15 – 17, 23, 37], а существование и устойчивость асимптотических N -солитонных решений в [21, 22, 38, 39]. Эти результаты позволяют описать распространение уединенных волн в однородных зернистых цепочках при предварительном сжатии [41].

Другой интересный случай соответствует сильно-нелинейным потенциалом взаимодействия, где $\kappa = 0$ (что соответствует исчезающей скорости звука, т.е. $c_s = 0$) и V имеет локальный минимум в начале координат. Классический пример дается потенциалом Герца:

$$V(x) = \frac{1}{1+\alpha} |x|^{1+\alpha} H(-x), \quad (6)$$

с $\alpha > 1$ и $H(x)$ – ступенчатой функцией Хевисайда. Этот потенциал описывает силу контакта между двумя первоначально касающимися упругими телами (при отсутствии предварительного сжатия) после небольшого смещения x [20]. Наиболее классический случай получается при $\alpha = 3/2$ и соответствует контакту между сферами или, в более общем случае, двумя гладкими несогласованными поверхностями. Недавно были рассмотрены зернистые материалы с участием нелинейностей разных порядков [32, 49, 51, 52]. В частности, экспериментальные исследования распространения уединенных волн были

проведены с цепочками полых сферических частиц различной ширины, ведущей к различным значениям α в диапазоне $1.2 \leq \alpha \leq 1.5$ [42].

Распространение стационарных импульсов сжатия в ФПУ-решетке (1) с потенциалом (6) для $\alpha = 3/2$ было впервые проанализировано Нестеренко [40, 41]. Эти результаты опираются на формальный континуальный предел и позволяют получать приближенные решения уединенной волны. Континуальный предел был также рассмотрен в [4] для произвольных значений $\alpha > 1$, ведущих к различным приближениям уединенных волн. Существование точного решения для уединенной волны в ФПУ-решетке (1) с потенциалом (6) следует из общих результатов в [18], упоминавшихся ранее (см. также [27, 35, 50]). Ширина этих солитонов не зависит от их амплитуды в связи с однородной нелинейностью потенциала Герца. Кроме того, сильно нелинейный характер потенциала Герца индуцирует дважды экспоненциальное пространственное затухание уединенных волн [13].

Хотя приведенные ранее аналитические результаты дают полезную информацию о сильно локализованных одиночных волнах, они не являются полностью удовлетворительными по нескольким причинам. Прежде всего, наличие результата [18] не обеспечивает приближения одиночного профиля волны, а приближения, доступные в литературе [4, 41], полагаются на предположение длинных волн, что не оправдано (например, уединенные волны, рассмотренные в [41], локализованы на пяти частицах). Кроме того, динамические свойства уединенных волн в сильно нелинейных ФПУ-решетках еще не изучены. Действительно, нет доступных математических результатов в отношении их устойчивости или существования N -солитонного решения. Другой интересной задачей является описание возбуждения одной или нескольких уединенных волн из локализованного начального возмущения [20, 28]. Для $c_s \neq 0$ и длинных волн малой амплитуды, эта задача может быть частично проанализирована в рамках приближения КдВ с помощью метода обратной задачи рассеяния [1, 12], но такое упрощение в настоящее время недоступно для сильно нелинейной ФПУ-решетки. Эти вопросы важны для анализа воздействия распространения в зернистой среде [2, 20, 33, 34].

В данной работе мы обратимся к проблеме с новой точки зрения. Мы не будем прибегать к полно нелинейным версиям уравнения Буссинеска, рассмотренным в [4, 41], так как эти модели обычно не являются хорошо обусловленными. Вместо этого мы формально получим в пределе $\alpha \rightarrow 1^+$ логарифмическое уравнение КдВ (log-КдВ) в качестве модуляционного уравнения для длинных волн в полно нелинейной ФПУ-решетке. Это уравнение допускает решения уединенных волн Гауссовой формы, которые ранее были идентифицированы как решения стационарного логарифмического нелинейного уравнения Шрёдингера (log-NLS) в контексте нелинейной волновой механики [7]. В контексте нашей работы было также установлено, что Гауссовские решения аппроксимируют стационарные бризеры в маятнике Ньютона (т.е. система (1) и (6) с дополнительным собственным потенциалом) в пределе $\alpha \rightarrow 1^+$ [26].

Статья составлена следующим образом. Разд. 1 содержит формальный вывод уравнения Кортевег-де Вриза с логарифмической нелинейностью. Стационарные решения в виде Гауссовых уединенных волн получены в разд. 2. Эти решения сопоставляются с численными решениями для уединенных волн в зернистых цепочках, а также с аппроксимациями в виде компактных волн. Разд. 3 дает детали анализа для обоснования вывода Гауссовых уединенных волн в пространстве решений быстро убывающих на бесконечности. Спектральная устойчивость Гауссовых уединенных волн в рамках уравнения Кортевег-де Вриза доказана в разд. 4. Мы также показываем, что компактные волны не устойчивы в уравнении типа Буссинеска, временная динамика которого является плохо обусловленной. В заключение суммируются результаты, полученные в статье.

1. Формальный вывод уравнения log-КдВ

Рассмотрим ФПУ-решетку (1) с однородным потенциалом взаимодействия:

$$V(x) = \frac{1}{1+\alpha} |x|^{1+\alpha}, \quad (7)$$

где $\alpha > 1$ фиксированное. Очевидно, что все решения $u_n \leq 0$ ФПУ-решетки (1) с потенциалом (7) также являются решениями ФПУ-решетки (1) с потенциалом (6). Задача может быть переписана в терминах относительных смещений следующим образом:

$$\frac{d^2 u_n}{dt^2} = \Delta(u|u|^{\alpha-1})_n, \quad n \in \mathbb{Z}, \quad (8)$$

где обозначено $u = (u_n)_{n \in \mathbb{Z}}$ и $(\Delta u)_n = u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}$ – дискретный оператор Лапласа.

Чтобы перейти к пределу $\alpha \rightarrow 1^+$ для длинных волн, удобнее переписать (8) в виде

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} - \Delta \right) u = \Delta f_\alpha(u), \quad (9)$$

где

$$f_\alpha(u) := u(|u|^{\alpha-1} - 1) = (\alpha - 1)u \ln |u| + O((\alpha - 1)^2). \quad (10)$$

Для $\alpha = 1$, $f_1(u) = 0$ и система (9) сводится к линейному дискретному волновому уравнению, где масштабирование (4) (с $c_s = 1$) дает линейризованное уравнение КдВ для огибающей функции u . Для анализа предела $\alpha \rightarrow 1^+$, мы предполагаем тот же тип масштабирования решения u в форме

$$u(t) = v(\xi, \tau) + O(\varepsilon), \quad \xi := 2\sqrt{3}\varepsilon(n-t), \quad \tau := \sqrt{3}\varepsilon^3 t, \quad (11)$$

где $v(\xi, \tau)$ даёт ведущий член в медленных переменных ξ и τ , $O(\varepsilon)$ является остаточным членом, а $\varepsilon > 0$ – малый параметр. В отличие от (4), амплитуду решения можно предположить величиной порядка единицы, в связи с масштабной инвариантностью ФПУ-решетки (1) с потенциалом (7) для $\alpha > 1$. Разлагая операторы в ряд Тейлора и используя правила дифференцирования сложной функции, мы получаем

$$\Delta = 12\varepsilon^2 \partial_\xi^2 (1 + \varepsilon^2 \partial_\xi^2 + O(\varepsilon^4)) \quad (12)$$

и

$$\frac{d^2}{dt^2} - \Delta = -12\varepsilon^4 \partial_\xi (\partial_\tau + \partial_\xi^3) + O(\varepsilon^6). \quad (13)$$

Для оценки правой части (9), воспользуемся разложением

$$f_\alpha(u) = f_\alpha(v + O(\varepsilon)) = (\alpha - 1)v \ln |v| + O((\alpha - 1)^2 + |\alpha - 1|\varepsilon |\ln \varepsilon|).$$

Полагая теперь $\varepsilon := \sqrt{\alpha - 1} > 0$ и используя (12), мы получаем

$$\Delta f_\alpha(u) = 12\varepsilon^4 \partial_\xi^2 (v \ln |v|) + O(\varepsilon^5 |\ln \varepsilon|). \quad (14)$$

При таком выборе ε , левая и правая части уравнения (9) имеют одинаковый порядок ε^4 в соответствии с разложениями (13) и (14). Подстановка этих разложений в (9) даёт

$$\varepsilon^4 \partial_\xi (\partial_\tau v + \partial_\xi^3 v + \partial_\xi (v \ln |v|)) + O(\varepsilon^5 |\ln \varepsilon|) = 0.$$

Тогда, пренебрегая членами более высокого порядка и интегрируя по ξ , получаем

$$\partial_\tau v + \partial_\xi^3 v + \partial_\xi (v \ln |v|) = 0, \quad \xi \in \mathbb{R}, \quad (15)$$

где постоянная интегрирования была выбрана нулевой, чтобы удовлетворить условию, когда $\lim_{\xi \rightarrow +\infty} v(\xi, \tau) = 0$. Уравнение (15) следует называть логарифмическим уравнением КдВ (log-КдВ). Оно может быть переписано как

$$\partial_\tau v + \partial_\xi^3 v + \partial_\xi (W'(v)) = 0, \quad \xi \in \mathbb{R}, \quad (16)$$

где потенциал W гласит

$$W(v) = \frac{v^2}{2} \left(\ln |v| - \frac{1}{2} \right).$$

Заметим, что если v является решением (15), то и $-v$ тоже решение. Кроме того, уравнение (15) допускает нестандартную симметрию Галилея с участием масштабирования амплитуды, т.е. каждое решение v порождает семейство решений с одним параметром

$$[\varphi(c) \cdot v](\xi, \tau) := e^c v(\xi - c\tau, \tau), \quad c \in \mathbf{R}. \quad (17)$$

В частности, все решения бегущих волн уравнения log-КдВ (15) могут быть выведены из стационарных решений.

Уравнение (15) попадает в класс обобщенных уравнений КдВ. Системы этого класса обладают тремя (формально) сохраняющимися величинами, а именно массой

$$M(v) = \int_{\mathbf{R}} v d\xi, \quad (18)$$

импульсом

$$P(v) = \frac{1}{2} \int_{\mathbf{R}} v^2 d\xi \quad (19)$$

и энергией

$$E(v) = \frac{1}{2} \int_{\mathbf{R}} (\partial_\xi v)^2 d\xi - \int_{\mathbf{R}} W(v) d\xi. \quad (20)$$

2. Стационарные решения

Будем искать решение уравнения log-КдВ (15), зависящее только от ξ . В этом случае получаем стационарное уравнение

$$\frac{d^3 v}{d\xi^3} + \frac{d}{d\xi} W'(v) = 0. \quad (21)$$

Интегрируя один раз в предположении $\lim_{\xi \rightarrow +\infty} v(\xi) = 0$, получаем

$$\frac{d^2 v}{d\xi^2} + W'(v) = 0, \quad (22)$$

что эквивалентно

$$\frac{d^2 v}{d\xi^2} + v \ln |v| = 0. \quad (23)$$

Это уравнение можно рассматривать как (одномерное) стационарное уравнение log-NLS [7].

Потенциал W в (22) имеет двухямную структуру с седлом при $v = 0$ (см. рис. 1), следовательно, существует пара (симметричных) гомоклинических орбит и большое разнообразие периодических орбит. Гомоклинические решения приобретают явный вид

$$v(\xi) = \pm \sqrt{e} e^{-\frac{\xi^2}{4}}. \quad (24)$$

Заметим, что эти (Гауссовы) гомоклинические решения затухают сверхэкспоненциально, но не затухают дважды экспоненциально в отличие от гомоклинических решений дифференциального уравнения с запаздыванием

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = \Delta(w|w|^{\alpha-1}), \quad z \in \mathbf{R}. \quad (25)$$

Это уравнение следует из ФПУ-решетки (8) для бегущих волновых решений

$$u_n(t) = w(z = n - t).$$

Дважды экспоненциальное затухание гомоклинических решений в дифференциальном уравнении с запаздыванием (25) было установлено в работах [13, 50].

Еще одно интересное наблюдение – связь между Гауссовыми решениями (24) и

компактными уединенными волнами в усеченном варианте уравнения (25), проинтегрированном дважды:

$$w = w|w|^{\alpha-1} + \frac{1}{12} \frac{d^2}{dz^2} w|w|^{\alpha-1}, \quad z \in \mathbf{R}. \tag{26}$$

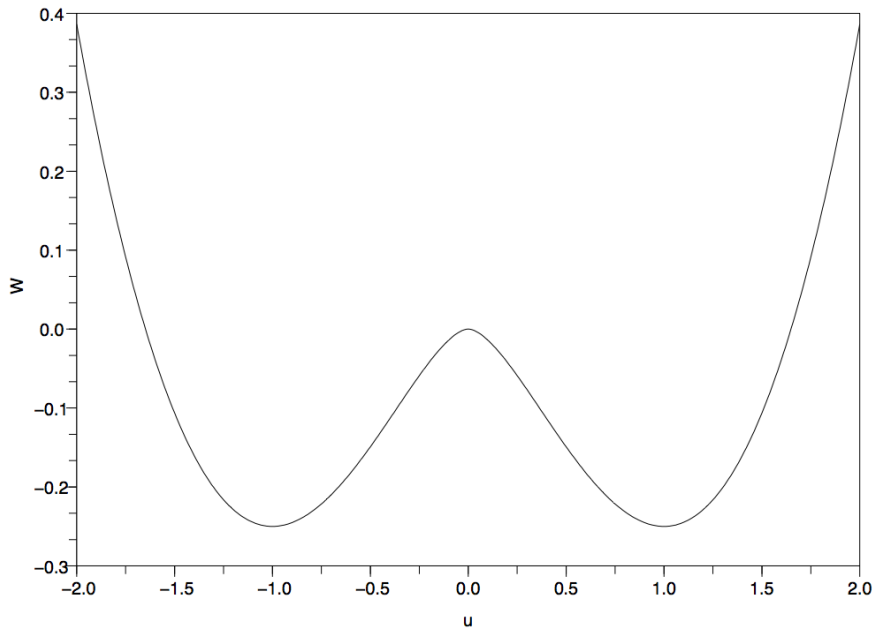


Рис. 1. График двухямного логарифмического потенциала W

Данное уравнение имеет уединённое решение, найденное в [4]:

$$w(z) = \begin{cases} a \cos^c(bz), & |z| \leq \frac{\pi}{2b}, \\ 0, & |z| \geq \frac{\pi}{2b}, \end{cases} \tag{27}$$

где

$$a = \left(\frac{1+\alpha}{2\alpha}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}, \quad b = \frac{\sqrt{3}(\alpha-1)}{\alpha}, \quad c = \frac{2}{\alpha-1}.$$

Отметим, что компактный носитель $[-\pi/2b, \pi/2b]$ расширяется на всю линию при $\alpha \rightarrow 1^+$. Положим $\varepsilon := \sqrt{\alpha-1}$, $\xi := 2\sqrt{3}\varepsilon z$, и применим разложения

$$a = \left(\frac{2+\varepsilon^2}{2(1+\varepsilon^2)}\right)^{-\frac{1}{\varepsilon^2}} = e^{-\frac{1}{\varepsilon^2} \log\left(1 - \frac{\varepsilon^2}{2(1+\varepsilon^2)}\right)} = \sqrt{e} \left(1 + O(\varepsilon^2)\right)$$

и

$$\cos^c(bz) = e^{\frac{2}{\varepsilon^2} \log \cos\left(\frac{\varepsilon \xi}{2(1+\varepsilon^2)}\right)} = e^{\frac{2}{\varepsilon^2} \log\left(1 - \frac{\varepsilon^2 \xi^2}{8(1+\varepsilon^2)^2} + O(\varepsilon^4 \xi^4)\right)} = e^{-\frac{\xi^2}{4}} \left(1 + O(\varepsilon^2 \xi^4)\right).$$

Для любого фиксированного $\xi \in \mathbf{R}$, компактная уединенная волна (27) сходится к Гауссовой уединенной волне (24) при $\varepsilon \rightarrow 0^+$. Обоснование вывода компактных уединенных волн (27) практически невозможно, поскольку трудно оправдать обрезание дифференциального уравнения с запаздыванием (26). В то же время, мы покажем, что

Гауссова уединенная волна (24) возникает в строгой редукции решений дифференциального уравнения с запаздыванием (25) при $\alpha \rightarrow 1^+$.

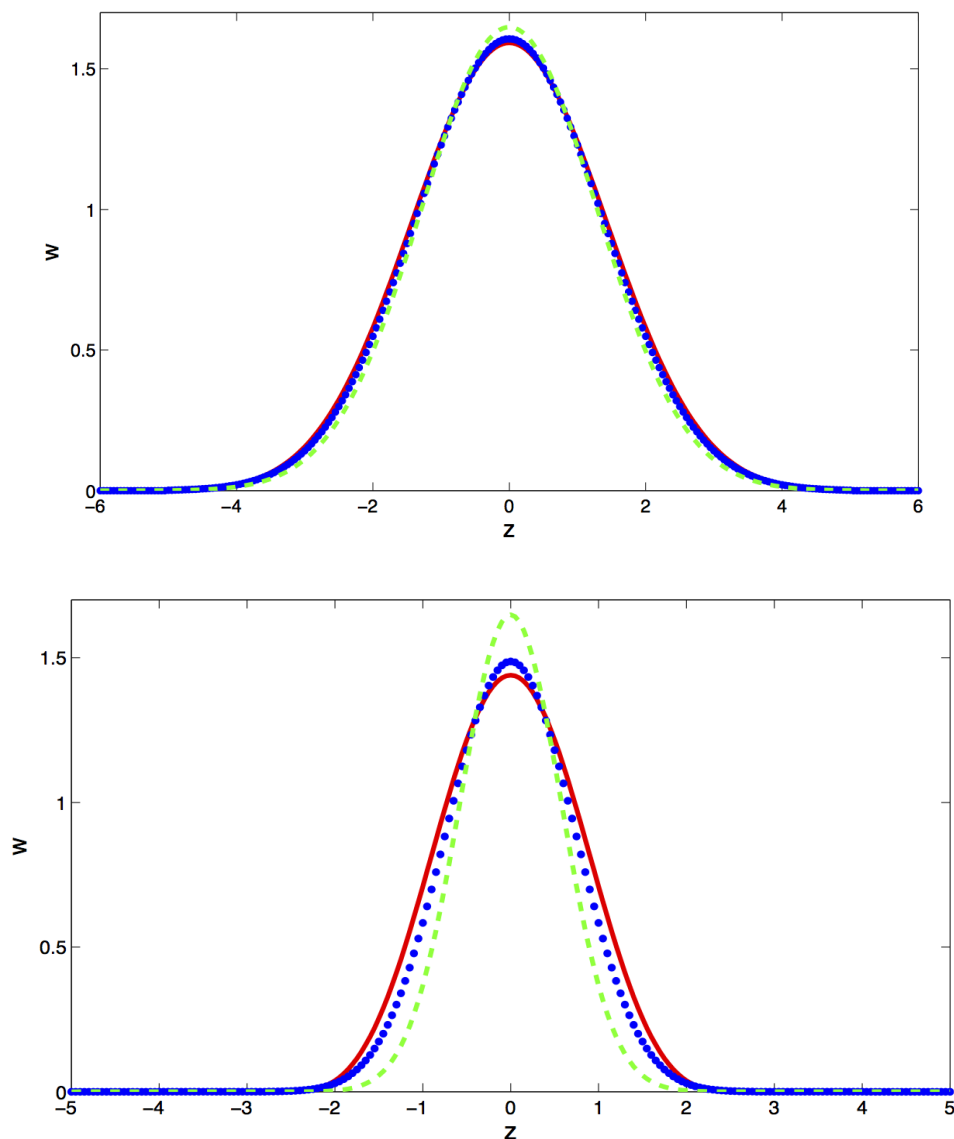


Рис. 2. Волновые решения (пунктирная линия) дифференциального уравнения с запаздыванием (25) в сравнении с компактными уединенными волнами (сплошная линия), задающимися уравнением (27), и Гауссовыми уединенными волнами (штриховая линия), задающимися уравнением (24), для $\alpha = 1.1$ (сверху) и $\alpha = 1.5$ (снизу)

На рис. 2 представлены уединенные волновые решения дифференциального уравнения с запаздыванием (25) в сравнении с точными решениями (27) и (24) для компактных и Гауссовых уединенных волн. Численные аппроксимации решений уединенных волн были получены с использованием итерационного алгоритма, основанного на перенормировке нормы L^1 [4].

Максимальное расстояние между уединенными волновыми решениями дифференциального уравнения с запаздыванием (25) и двух аппроксимаций компактных уединенных волн (27) и Гауссовой уединенной волны (24) как функции от α представлено на рис. 3. Гауссовы уединенные волны обеспечивают худшую аппроксимацию по сравнению с компактными уединенными волнами, но ошибки обеих аппроксимаций стремятся к нулю при $\alpha \rightarrow 1^+$.

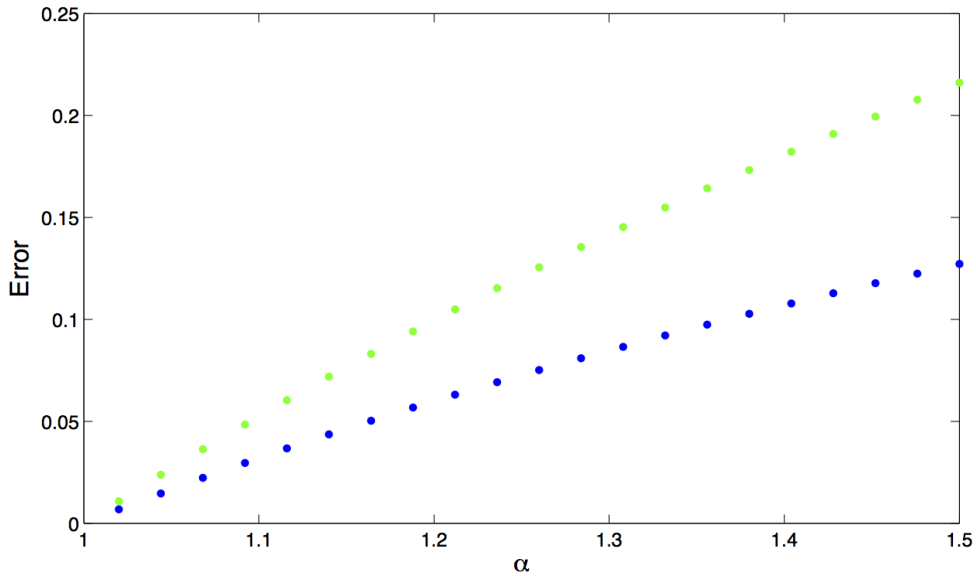


Рис. 3. Максимальное расстояние между уединенными волновыми решениями дифференциального уравнения с запаздыванием (25) и компактными уединенными волнами (темные точки) или Гауссовыми уединенными волнами (светлые точки) в зависимости от параметра α

3. Обоснование вывода Гауссовых уединенных волн

Рассмотрим уединенные волновые решения дифференциального уравнения с запаздыванием (25), существование которых было установлено для любого $\alpha > 1$ в работах [18, 27, 35, 50]. Докажем, что семейство уединенных волн сходится к Гауссовой уединенной волне (24), когда $\alpha \rightarrow 1^+$. Благодаря трансформации $w \rightarrow -w$, достаточно работать только с положительными уединенными волнами.

Запишем дифференциальное уравнение с запаздыванием (25) для положительного w в эквивалентной форме Фурье:

$$\hat{w}(k) = \frac{4}{k^2} \sin^2\left(\frac{k}{2}\right) \widehat{\wedge} w^{1+\varepsilon^2}(k), \quad k \in \mathbf{R}, \tag{28}$$

где $\alpha = 1 + \varepsilon^2$ и крышка обозначает преобразование Фурье $\hat{w}(k) = \int_{\mathbf{R}} w(z) e^{ikz} dz$.

Разобьем бесконечную линию по k на два интервала $I := [-\varepsilon^p, \varepsilon^p]$ и $\mathbf{R} \setminus I$, где положительная константа p будет определена позже. Метод разложения решений в пространстве Фурье недавно был использован в [9, 24, 46, 47] для обоснования асимптотических представлений стационарных состояний в периодических потенциалах. Следовательно, мы разложим

$$\hat{w}(k) = \hat{V}(k) \chi_I(k) + \hat{W}(k) \chi_{\mathbf{R} \setminus I}(k), \tag{29}$$

где χ_S является характеристической функцией множества $S \subset \mathbf{R}$. Аналогично, мы пишем $w = V + W$ по переменной z .

Применяя преобразование Фурье к положительному Гауссову решению (24), переписанному по переменной z с $\xi = 2\sqrt{3}\varepsilon z$, получаем

$$v(z) = \sqrt{e} e^{-3\varepsilon^2 z^2} \Rightarrow \hat{v}(k) = \sqrt{\frac{\pi e}{3\varepsilon^2}} e^{-\frac{k^2}{12\varepsilon^2}}. \tag{30}$$

Это вычисление подсказывает нам искать решения интегрального уравнения (28) в пространстве непрерывных четных функций с Гауссовым затуханием по z и k :

$$X := \left\{ w \in C_{\text{even}}^0(\mathbf{R}) : |w(z)| \leq \alpha e^{-\gamma \varepsilon^2 z^2}, \quad \widehat{w^{1+\varepsilon^2}}(k) \leq \beta \varepsilon^{-1} e^{-\delta \varepsilon^{-2} k^2} \right\}, \quad (31)$$

где α, β, γ и δ положительные константы, не зависящие от ε .

Из интегрального уравнения (28) на $\mathbf{R}I$ в функциональном пространстве (31) получаем оценку

$$|\widehat{W}(k)| \leq \frac{4\beta}{k^2 \varepsilon} e^{-\delta \varepsilon^{-2} k^2}, \quad |k| \geq \varepsilon^p,$$

которая экспоненциально мала при $\varepsilon \rightarrow 0$, если $p < 1$. Поскольку

$$W(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{|k| \geq \varepsilon^p} W(k) e^{-ikz} dk \Rightarrow |W(z)| \leq \frac{4\beta}{\pi \varepsilon^{1+p}} e^{-\delta \varepsilon^{2p-2}},$$

то максимум W экспоненциально мал по ε . Кроме того, хвосты w затухают быстро [13], поэтому W удовлетворяет условию $|W(z)| \leq \alpha e^{-\gamma \varepsilon^2 z^2}$ для некоторых $\alpha, \gamma > 0$. По теореме о неявной функции для любого V в разложении (29) из функционального пространства (31), существует единственное W из решения интегрального уравнения (28) по $\mathbf{R}I$ таким, что $V + W$ по-прежнему принадлежит функциональному пространству (31).

Теперь мы можем перейти к решению интегрального уравнения (28) на I . Раскладывая правую часть в ряд Тейлора по k и ε , получаем

$$\begin{aligned} \widehat{V}(k) = & \left(1 - \frac{k^2}{12} + O(\varepsilon^{4p}) \right) \left(\widehat{V}(k) + \varepsilon^2 (V + W) \log(V + W)(k) + \right. \\ & \left. + O(\varepsilon^4 (V + W) \log^2(V + W)(k)) \right), \quad |k| \leq \varepsilon^p. \end{aligned} \quad (32)$$

Поскольку W экспоненциально мала по ε , равенство (32) может быть переписано в виде

$$0 = -\frac{k^2}{12} \widehat{V}(k) + \varepsilon^2 V \log(V)(k) + O(\varepsilon^{4p} \widehat{V}(k) + \varepsilon^4 V \log^2(V)(k)), \quad |k| \leq \varepsilon^p. \quad (33)$$

Усеченная версия (33) для первых двух слагаемых имеет вид

$$0 = -\frac{k^2}{12} \widehat{V}(k) + \varepsilon^2 V \log(V)(k), \quad |k| \leq \varepsilon^p \quad (34)$$

и ему удовлетворяет Гауссово решение (30). Мы воспользуемся теоремой о неявной функции для продолжения решений. Линеаризуя уравнение (34) на решении (30) мы получим

$$\begin{aligned} [G(\widehat{v})v](k) & := \left(\varepsilon^2 - \frac{k^2}{12} \right) \widehat{v}(k) + \varepsilon^2 \log(v)v(k) = \\ & = \left(\frac{3\varepsilon^2}{2} - \frac{k^2}{12} \right) \widehat{v}(k) + 3\varepsilon^2 \frac{d^2 \widehat{v}}{dk^2}. \end{aligned}$$

Оператор $G(v)$ в форме Фурье определен для $k \in I$ с учетом граничных условий Дирихле на границе I . Обозначим расширение $G(v)$ для всех $k \in \mathbf{R}$ с помощью $L(v)$. По переменной z , $L(v)$ эквивалентно оператору Шрёдингера с гармоническим потенциалом

$$L(v) := \frac{1}{12} \partial_z^2 + \frac{3\varepsilon^2}{2} - 3\varepsilon^2 z^2. \quad (35)$$

Этот оператор имеет чисто дискретный спектр простых собственных значений, расположенных на одинаковом расстоянии при $\varepsilon^2(1 - n)$, где $n \in \mathbf{N}_0$. Нулевое собственное значение соответствует симметрии по отношению к сдвигу и оно отсутствует в пространстве

четных функций. В результате, оператор $L(v)$ имеет ограниченную резольвенту в пространстве четных функций с размером $O(\varepsilon^{-2})$.

Так как $G(v)$ получено из $L(v)$ путем обрезания в пространстве Фурье на I и собственные функции оператора $L(v)$ экспоненциально малы по ε в $\mathbf{R} \setminus I$, если $p < 1$, то собственные значения $G(v)$ не находятся точно в $\varepsilon^2(1 - n)$, но экспоненциально близки к этим значениям. Следовательно, оператор $G(v)$ также имеет ограниченную резольвенту в пространстве четных функций с размером $O(\varepsilon^{-2})$. Решая (33) с применением теоремы о неявной функции в функциональном пространстве (31), получаем единственное решение V для всех малых $\varepsilon > 0$, где поправка к решению (30) удовлетворяет оценке

$$\sup_{z \in \mathbf{R}} |v(z)| \leq C\varepsilon^{4p-2},$$

для некоторой положительной константы C , не зависящей от ε . Остаточный член является малым по ε , если $p > 1/2$. Таким образом, у нас есть непустой интервал значений p в $(1/2, 1)$, для которого работает анализ. Следовательно, уединенное волновое решение дифференциального уравнения с запаздыванием (25) сходится к Гауссовой уединенной волне (24), когда $\alpha \rightarrow 1^+$.

4. Спектральная устойчивость уединенных волн Гаусса

Уравнение log-КдВ (16) может быть записано в Гамильтоновой форме:

$$\partial_\tau v = \partial_\xi E'(v), \quad (36)$$

связанной с энергией (20). Гауссова уединенная волна (24) является стационарной точкой энергией $E(v)$ в том смысле, что $E'(v) = 0$, в то время как семейство бегущих уединенных Гауссовых волн, полученных с помощью трансформации (17), является стационарной точкой функционала $E(v) + cP(v)$. Вторая вариация $E(v)$ на уединенной Гауссовой волне (24) задается оператором Шрёдингера с гармоническим потенциалом:

$$L := E''(v) = -\partial_\xi^2 - 1 - \log |v| = -\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} - \frac{3}{2} + \frac{\xi^2}{4}, \quad (37)$$

с областью определения $D(L) = H^2(\mathbf{R}) \cap L_2^2(\mathbf{R})$ плотной в $L^2(\mathbf{R})$.

Спектральная устойчивость Гауссовой уединенной волны определяется расположением собственных значений из несамосопряженной задачи о собственных значениях

$$\partial_\xi Lw = \lambda w, \quad (38)$$

где (λ, w) является парой собственного значения и собственного вектора, возникающей в возмущении $w(\xi)e^{\lambda\tau}$ уединенной волны $v(\xi)$.

Спектр L чисто дискретный и состоит из простых собственных значений при целых $n - 1$, где $n \in \mathbf{N}_0$ (множество натуральных чисел и ноль). В частности, L имеет одно отрицательное собственное значение и простое нулевой собственное значение, в то время, как остальная часть спектра ограничена от нуля положительными числами. Собственный вектор для $\text{Ker}(L)$ есть $f_0 = \partial_\xi v$ и он принадлежит $D(L) \cap D(\partial_\xi L \partial_\xi) \cap H^1(\mathbf{R})$.

Основные предположения спектральной теории устойчивости выполняются для эволюционного уравнения типа КдВ (см. недавние работы [31, 45] и более ранние ссылки в них). Поэтому мы применяем основные результаты [31, 45] с некоторыми модификациями.

Спектр $\partial_\xi L$ чисто дискретный. Если существуют собственные значения с $\text{Re}(\lambda) > 0$, тогда уединенная волна является спектрально неустойчивой. Если все собственные значения расположены на мнимой оси, то уединенная волна называется спектрально устойчивой. В силу симметрии спектральной задачи (38), если $w(\xi)$ есть собственный вектор для собственного значения λ , то $w(-\xi)$ есть собственный вектор для собственного значения $-\lambda$. Эта Гамильтонова симметрия предполагается в [45].

Согласно основной теореме в [31, 45], уединенная волна спектрально устойчива если $n(L) = n_0$, где $n(L) = 1$ число отрицательных собственных значений L и $n_0 = 1$, если

$$\langle L^{-1} \partial_{\xi}^{-1} f_0, \partial_{\xi}^{-1} f_0 \rangle = \langle L^{-1} v, v \rangle < 0. \quad (39)$$

Для проверки предположения (39), заметим, что если $v_c := e^c v$ есть бегущее волновое решение, удовлетворяющее дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2 v_c}{d\xi^2} + v_c \ln |v_c| = c v_c, \quad (40)$$

тогда $L \partial_c v_c = -v_c$. В результате получаем

$$\langle L^{-1} v, v \rangle = -\langle \partial_c v_c, v_c \rangle|_{c=1} = -\partial_c P(v_c)|_{c=1} = -\|v\|^2 < 0.$$

Здесь был использован импульс $P(v_c) = e^{2c} P(v)$, определенный в (19).

Таким образом, предположения основных результатов из [31, 45] проверены, и Гауссова уединенная волна (24) является спектрально устойчивой. Нам хотелось бы сравнить результат спектральной устойчивости для уравнения log-КдВ (16) с прогнозами формальной физической теории из [4] на компактных уединенных волнах.

Из рис. 2 и рис. 3 следует, что дифференциальное уравнение с запаздыванием (25) для любого $\alpha > 1$ хорошо аппроксимируется компактными уединенными волнами дифференциального уравнения (26). Зависящая от времени версия того же уравнения для положительных решений задается с помощью нелинейного уравнения Буссинеска

$$u_{tt} = (u^\alpha)_{xx} + \frac{1}{12} (u^\alpha)_{xxxx} \quad (41)$$

Линеаризуя на компактной уединенной волне w в системе отсчета перемещающейся с единичной скоростью, мы подставляем $u(x, t) = w(x - t) + U(x - t)e^{\lambda t}$, где λ спектральный параметр, а U член возмущения, и приходим к задаче спектральной устойчивости:

$$(\lambda - \partial_z)^2 U = \left(\partial_z^2 + \frac{1}{12} \partial_z^4 \right) (VU), \quad (42)$$

где $z = x - t$ и $V(z) := \alpha w^{\alpha-1}(z)$. Заметим, что $V(z) \sim \cos^2(bz)$, следовательно, V и V' обращаются в нуль в конечных точках $z = \pm\pi/2b$ компактного носителя w .

Рассмотрим спектральную задачу в функциональном пространстве

$$X = \{U \in H^2(\mathbf{R}), VU \in H^4(\mathbf{R})\},$$

что позволяет обрезать пространственную область на компактном интервале $\left[-\frac{\pi}{2b}, \frac{\pi}{2b}\right]$, где

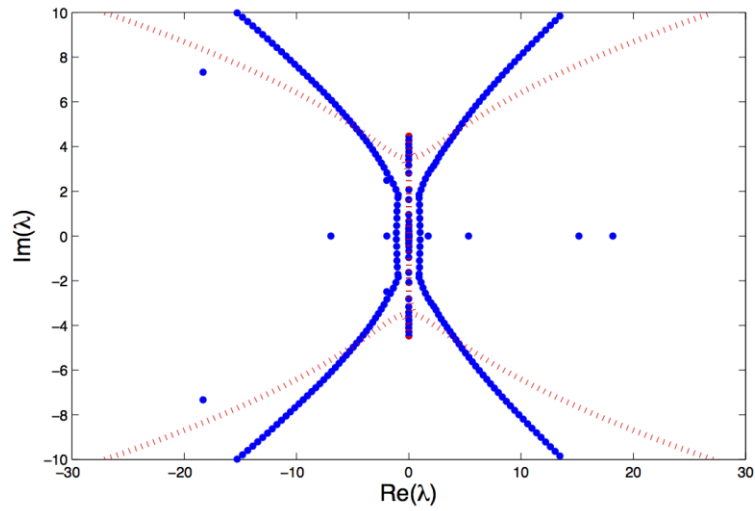
b определено в (27), с учетом граничных условий

$$U\left(\pm \frac{\pi}{2b}\right) = 0, \quad U'\left(\pm \frac{\pi}{2b}\right) = 0. \quad (43)$$

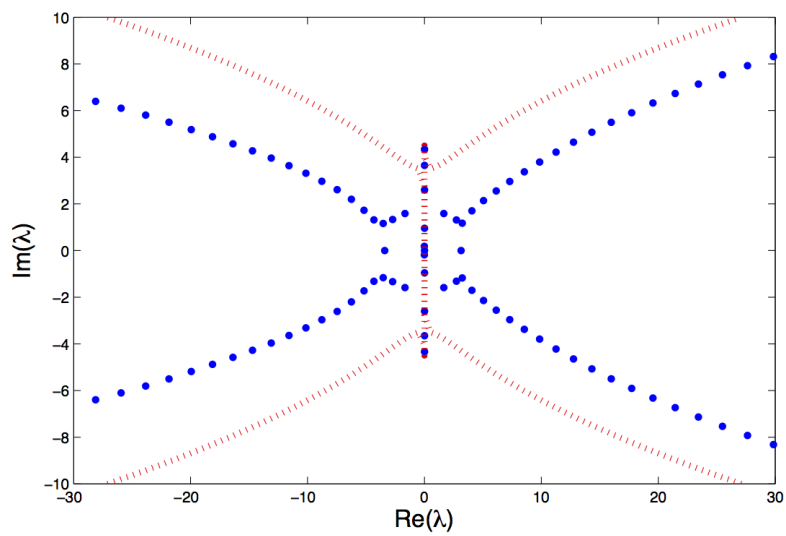
Задача спектральной устойчивости (42) может быть решена точно для $\alpha = 1$, когда $V(z) = 1$ для всех $z \in \mathbf{R}$, поскольку компактный интервал расширяется на всю действительную ось при $\alpha \rightarrow 1$ (когда $b \rightarrow 0$). В этом случае спектр чисто непрерывный и его расположение вдоль двух непрерывных кривых может быть найдено с использованием преобразования Фурье:

$$\lambda = \lambda_{\pm}(k) := ik \pm k\sqrt{k^2/12 - 1}, \quad k \in \mathbf{R}. \quad (44)$$

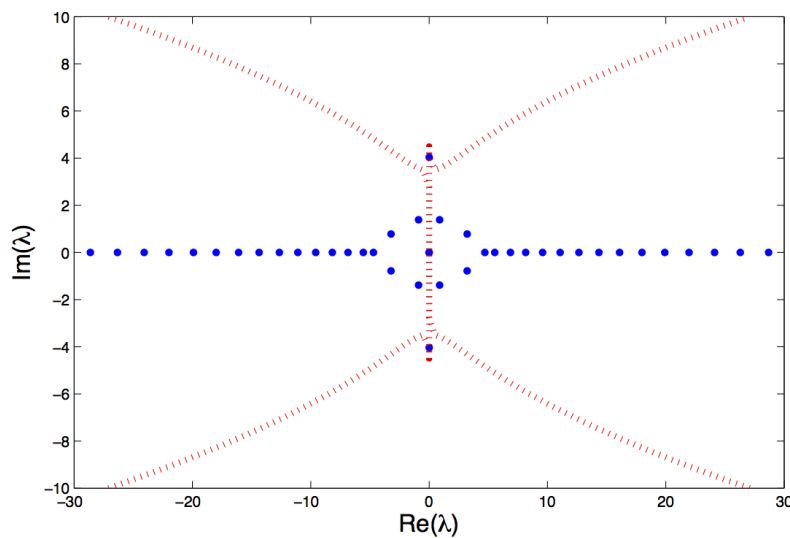
Для $\alpha > 1$, задача спектральной устойчивости (42) с граничными условиями (43) имеет чисто дискретный спектр, который может быть аппроксимирован стандартным методом центральных конечных разностей. Собственные значения задачи спектральной устойчивости (42) показаны на рис. 4 точками. Пунктирная кривая показывает непрерывный спектр (44) для $\alpha = 1$.



a)



b)



v)

Рис. 4. Собственные значения задачи спектральной устойчивости (42) и (43):
 $a - \alpha = 1.05$; $b - \alpha = 1.2$; $v - \alpha = 1.5$

При α увеличивающейся от $\alpha = 1$, собственные значения отходят от непрерывного спектра (44). Собственные значения приближаются к действительной оси далеко от начала координат. Непрерывный спектр (44) и изолированные собственные значения на рис. 4 иллюстрируют плохую обусловленность нелинейного уравнения Буссинеска (41), которая была доказана для частного случая нелинейного вырожденного уравнения в [5]. Подчеркнем, что приближение уединенных волн с уравнением \log -КдВ (16) свободно от этого недостатка модели и предсказывает спектральную устойчивость Гауссовых уединенных волн (24).

Заключение

В данной работе получена новая модификация уравнения Кортевега-де Вриза, при описании динамики зернистых цепочек с сильно нелинейными потенциалами. Уравнение Кортевега-де Вриза характеризуется логарифмическими нелинейностями и имеет семейство точных решений в виде Гауссовых уединенных волн. Доказано, что Гауссовы уединенные волны являются устойчивыми во временной динамике уравнения Кортевега-де Вриза. Также доказано, что Гауссовы уединенные волны хорошо аппроксимируют уединенные волны в зернистых цепочках. Ошибка аппроксимации может быть оценена в пространствах с быстрым затуханием на бесконечности.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» (соглашение № 14.В37.21.0868).

Библиографический список

1. **Ablowitz M.J.** Nonlinear Dispersive Waves: Asymptotic Analysis and Solitons, Cambridge Texts in Applied Mathematics / M.J. Ablowitz. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
2. **Acary, V.** Concurrent multiple impacts modelling: Case study of a 3-ball chain / V. Acary, B. Brogliato // Proc. of the MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics, 2003 (K.J. Bathe, Ed.), Elsevier Science, P. 1836–841.
3. **Afshari, E.** Nonlinear transmission lines for pulse shaping in silicon / E. Afshari, A. Hajimiri // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2005. V. 40. P. 744–752.
4. **Ahnert, K.** Compactons and chaos in strongly nonlinear lattices / K. Ahnert, A. Pikovsky // Phys. Rev. E. 2009. V. 79. P. 026209.
5. **Ambrose, D.M.** Ill-posedness of degenerate dispersive equations / D.M. Ambrose, G. Simpson, J.D. Wright, D.G. Yang // Nonlinearity. 2012. V. 25. P. 2655–2680.
6. **Bambusi, D.** On metastability in FPU / D. Bambusi, A. Ponno // Comm. Math. Phys. 2006. V. 264. P. 539–561.
7. **Bialynicki-Birula, I.** Nonlinear Wave Mechanics / I. Bialynicki-Birula, J. Mycielski // Annals of Physics. 1976. V. 100. P. 62–93.
8. **Campbell, D.K.** The Fermi-Pasta-Ulam problem : the first 50 years / D.K. Campbell [et al.] // Chaos. 2005. V. 15.
9. **Dohnal, D.** Coupled-mode equations and gap solitons for the 2D Gross-Pitaevskii equation with a non-separable periodic potential / D. Dohnal, H. Uecker // Physica D. 2009. V. 238. P. 860–879.
10. **Dou, Q.** Breathers and kinks in a simulated breather experiment / Q. Dou, J. Cuevas, J.C. Eilbeck, F.M. Russell // Discrete Contin. Dyn. Syst. 2011. Ser. S4. P. 1107 – 1118.
11. **Dubovsky, O.A.** Emission of supersonic soliton wave beams - generators of restructuring of nanocrystals under atom bombardment, and the self-organization of a dynamic superlattice of complexes of soliton atomic vibrations / O.A. Dubovsky, A.V. Orlov // Phys. of solid state. 2010. V. 52. P. 899–903.
12. **Eckhaus, W.** The Inverse Scattering Transformation and Solitons: An Introduction, Math. Studies 50 / W. Eckhaus, A. Van Harten. – Amsterdam: North-Holland, 1984.
13. **English, J.M.** On the solitary wave pulse in a chain of beads / J.M. English, R.L. Pego // Proc. Amer. Math. Soc. 2005. V. 133. No. 6. P. 1763 – 1768.
14. **Friesecke, G.** Solitary waves on FPU lattices : I. Qualitative properties, renormalization and continuum limit / G. Friesecke, R.L. Pego // Nonlinearity. 1999. V. 12. P. 1601 – 1627.

15. **Friesecke, G.** Solitary waves on FPU lattices : II. Linear implies nonlinear stability / G. Friesecke, R.L. Pego // *Nonlinearity*. 2002. V. 15. P. 1343–1359.
16. **Friesecke, G.** Solitary waves on FPU lattices : III. Howland-type Floquet theory / G. Friesecke, R.L. Pego // *Nonlinearity*. 2004. V. 17. P. 207–227.
17. **Friesecke, G.** Solitary waves on FPU lattices : IV. Proof of stability at low energy / G. Friesecke, R.L. Pego // *Nonlinearity*. 2004. V. 17. P. 229–251.
18. **Friesecke, G.** Existence theorem for solitary waves on lattices / G. Friesecke, J.A. Wattis // *Commun. Math. Phys.* 1994. V. 161. P. 391–418.
19. **Gallavotti, G.** The Fermi-Pasta-Ulam Problem. A Status Report // *Lecture Notes in Physics*. 2008. V. 728.
20. **Hinch, E.J.** The fragmentation of a line of ball by an impact / E.J. Hinch, S. Saint-Jean // *Proc. R. Soc. London. Ser. A*. 1999. V. 455. P. 3201–3220.
21. **Hoffman, A.** Counter-propagating two-soliton solutions in the Fermi-Pasta-Ulam lattice / A. Hoffman, C.E. Wayne // *Nonlinearity*. 2008. V. 21. P. 2911–2947.
22. **Hoffman, A.** Asymptotic two-soliton solutions in the Fermi-Pasta-Ulam model / A. Hoffman, C.E. Wayne // *J. Dyn. Diff. Equat.* 2009. V. 21. P. 343–351.
23. **Hoffman, A.** A simple proof of the stability of solitary waves in the Fermi-Pasta-Ulam model near the KdV limit / A. Hoffman, C.E. Wayne // *Fields Institute Communications*. 2013. V. 64. P. 185–192.
24. **Ilan, B.** Band-edge solitons, nonlinear Schrödinger (Gross-Pitaevskii) equations and effective media / B. Ilan, M. Weinstein // *Multiscale Model. Simul.* 2010. V. 8. P. 1055–1101.
25. **Iooss, G.** Travelling waves in the Fermi-Pasta-Ulam lattice // *Nonlinearity*. 2000. V. 13. P. 849–66.
26. **James G., Starosvetsky Y.** Breather solutions of the discrete p -Schrödinger equation, to appear in *Springer Series on Wave Phenomena* / G. James, Y. Starosvetsky.
27. **Ji, J.-Y.** Existence criterion of solitary waves in a chain of grains / J.-Y. Ji, J. Hong // *Phys. Lett. A*. 1999. V. 260. P. 60 – 61.
28. **Job, S.** Solitary wave trains in granular chains: Experiments, theory and simulations / S. Job, F. Melo, A. Sokolow, S. Sen // *Granular Matter*. 2007. V. 10. P. 13–20.
29. **Johnson, K.L.** Contact mechanics / K.L. Johnson. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985.
30. **Kalyakin, L.A.** Long wave asymptotics. Integrable equations as asymptotic limits of non-linear systems // *Russian Math. Surveys*. 1989. V. 44. P. 3–42.
31. **Kapitula, T.** A Hamiltonian – Krein (instability) index theory for KdV-like eigenvalue problems / T. Kapitula, A. Stefanov // *arXiv: 1210.6005*. 2012.
32. **Khatri, D.** Highly nonlinear solitary waves in chains of cylindrical particles / D. Khatri, D. Ngo, C. Daraio // *Granular Matter*. 2012. V. 14. P. 63–69.
33. **Liu, C.** Frictionless multiple impacts in multibody systems. I. Theoretical framework / C. Liu, Z. Zhao, B. Brogliato // *Proc. R. Soc. A-Math. Phys. Eng. Sci.* 2008. V. 464. P. 3193–3211.
34. **Liu, C.** Frictionless multiple impacts in multibody systems. II. Numerical algorithm and simulation results / C. Liu, Z. Zhao, B. Brogliato // *Proc. R. Soc. A-Math. Phys. Eng. Sci.* 2009. V. 465. P. 1–23.
35. **MacKay, R.S.** Solitary waves in a chain of beads under Hertz contact // *Phys. Lett. A*. 1999. V. 251. P. 191–192.
36. **Mielke, A.** Dispersive stability of infinite-dimensional Hamiltonian systems on lattices / A. Mielke, C. Patz // *Applicable Analysis*. 2010. V. 89. P. 1493–1512.
37. **Mizumachi, T.** Asymptotic stability of lattice solitons in the energy space // *Commun. Math. Phys.* 2009. V. 288. P. 125–144.
38. **Mizumachi, T.** N -Soliton States of the Fermi-Pasta-Ulam Lattices // *SIAM Journal of Mathematical Analysis*. 2011. V. 43. P. 2170–2210.
39. **Mizumachi, T.** Asymptotic Stability of N -Solitary Waves of the FPU Lattices // *Archive for Rational Mechanics and Analysis*. 2013. V. 207. P. 393–457.
40. **Nesterenko, V.F.** Propagation of nonlinear compression pulses in granular media // *J. Appl. Mech. Tech. Phys.* 1983. V. 24. P. 733–743.
41. **Nesterenko, V.F.** Dynamics of heterogeneous materials / V.F. Nesterenko. – Berlin: Springer Verlag, 2001.
42. **Ngo, D.** Highly nonlinear solitary waves in chains of hollow spherical particles / D. Ngo, S. Griffiths, D. Khatri, C. Daraio // *Granular Matter*. 2013. DOI 10.1007/s10035-012-0377-5.

43. **Nguyen, N.-S.** Shock dynamics in granular chains: numerical simulations and comparison with experimental tests / N.-S. Nguyen, B. Brogliato // *Granular Matter*. 2012. V. 14. P. 341–362.
44. **Pankov, A.** Travelling waves and periodic oscillations in Fermi-Pasta-Ulam lattices / A. Pankov. – London: Imperial College Press, 2005.
45. **Pelinovsky, D.E.** Spectral stability of nonlinear waves in KdV-type evolution equations // Proceedings of the workshop “Spectral analysis, stability, and bifurcation in modern nonlinear physical systems” (January, 2013).
46. **Pelinovsky, D.** Justification of the coupled-mode approximation for a nonlinear elliptic problem with a periodic potential / D. Pelinovsky, G. Schneider // *Appl. Anal.* 2007. V. 86. P. 1017–1036.
47. **Pelinovsky, D.** Justification of the lattice equation for a nonlinear elliptic problem with a periodic potential / D. Pelinovsky, G. Schneider, R. MacKay // *Comm. Math. Phys.* 2008. V. 284. P. 803–831.
48. **Schneider, G.** Counter-propagating waves on fluid surfaces and the continuum limit of the Fermi-Pasta-Ulam model / G. Schneider, C.E. Wayne // In B. Fiedler, K. Gröger and J. Sprekels, editors, *International Conference on Differential Equations Appl.* 1998. V. 5(1). P. 69–82.
49. **Sekimoto, K.** Newton's cradle versus nonbinary collisions // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V. 104. P. 124302.
50. **Stefanov, A.** On the existence of solitary traveling waves for generalized Hertzian chains / A. Stefanov, P.G. Kevrekidis // *J. Nonlinear Sci.* 2012. V. 22. P. 327–349.
51. **Sun, D.** Nonlinear repulsive force between two solids with axial symmetry / D. Sun, C. Daraio, S. Sen // *Phys. Rev. E.* 2011. V. 83. P. 066605.
52. **Sun, D.** Nonlinear grain-grain forces and the width of the solitary wave in granular chains : a numerical study / D. Sun, S. Sen // *Granular Matter*. 2013. V. 15. P. 157–161.

*Дата поступления
в редакцию 20.08.2013*

**D.E. Pelinovsky^{1,2}, A.R. Giniyatullin², Yu.A. Panfilova²,
E.G. Shurgalina², A.A. Rodin²**

ANALYTICAL APPROXIMATIONS OF SOLITARY WAVES IN GRANULAR CRYSTALS

Department of Mathematics and Statistics, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada¹,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev²

Purpose: To study dynamics of granular chains with strongly nonlinear potentials. To obtain a new modification of a Korteweg – de Vries equation, characterized by logarithmic nonlinearities. To find a family of its exact solutions in a form of Gaussian solitary waves and to prove their stability.

Scientific approach.: The study uses analytical and numerical methods.

Results: The Korteweg – de Vries equation with logarithmic nonlinearity is derived from the discrete Fermi – Pasta – Ulam equation with strongly nonlinear Hertz potentials. It is shown that Gaussian localized solutions of the Korteweg – de Vries equation give analytical approximations for strongly localized solitary waves in granular trains. The accuracy of analytical approximations is verified in spaces with fast decay at infinity. Spectral stability of Gaussian localized solutions in the framework of Korteweg – de Vries equation is proven. Boussinesq-type models with compact solutions, earlier formally derived in physical literature, are shown to be strongly unstable and ill-conditioned from the point of view of temporal dynamics, and their application is very limited in the problems concerning with solitary waves in granular trains.

Applications: The results can be applied to analysis of a response of a granular medium of different nature on a localized external forcing.

Key words: log-Korteweg-de Vries equation, solitary waves of the Gaussian shape, discrete Fermi-Pasta-Ulam equation, spectral stability.

ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.7

В.А. Утробин

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ КОМПОНЕНТ U -ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются проблемы построения перцептивного пространства для систем технического зрения с позиций теории активного восприятия по результатам анализа произвольного изображения на системе пространственных градиентов.

Ключевые слова: зрительное восприятие, физико-математические интерпретации, пространственные модели.

Введение

В настоящее время одной из главных проблем при разработке систем зрительного восприятия на этапе понимания результатов наблюдения внешней среды является построение перцептивного (внутреннего для наблюдателя) пространства как модели внешнего. Главная цель построения – это ориентация во внешней среде, понимание своего места в этой среде [1].

В соответствии с теорией активного восприятия (ТАВ) [2, 3], изображение M , представленное своими скалярными компонентами $\mu(x, y)$, подвергается интегральному Q -преобразованию по произвольной области определения G_i (либо по всей области определения G изображения)

$$m(G_i) = \iint_{(x,y) \in G_i} \mu(x, y) dx dy, \quad (1)$$

отображающему изображение в бесконечно гладкое многообразие с потенциальной возможностью последующего выявления внутренней геометрии этого многообразия. Поэтому следующим этапом обработки изображения является пространственное дифференцирование, позволяющее выявлять пятнадцать значений градиентов по направлениям пятнадцати векторных полей Киллинга в потенциальном поле относительно центра области определения A_0 , где находится «тяготеющая» масса (визуальная масса) (1):

$$v^i = \frac{d\varphi(A_0)}{dx^i} = \left| \text{grad}_{x^i} \varphi(A_0) \right|, \quad i = \overline{1, 15}. \quad (2)$$

В результате имеем композицию (U -преобразование)

$$u = v \circ w \equiv d \circ \int_G, \quad (3)$$

а также 16-мерный вектор результата разложения $\mu = \{\mu_i\}$ (рис. 1).

Если систему пространственных производных (2) представить в декартовой системе координат, то каждый из блоков предобработки (рис. 1, фильтры-покрытий, маски, F_i) выявляет дифференциальную структуру по одному из направлений в поле потенциальной функции $\varphi(x, y)$

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^{j-1}}{\partial x^{k-1} \partial y^r} \right), \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^{j-1}}{\partial x^k \partial y^{r-1}} \right), \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial^{j-r}}{\partial x^{k-1} \partial y^{r-1}} \right) \right), \quad (4)$$

где $k, r = \overline{1,3}, k + r = 6, j = \overline{1,6}$ (обозначение потенциальной функции опущено).

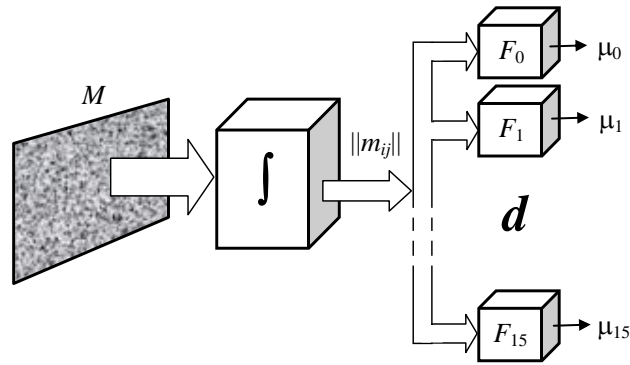


Рис. 1. Система преобработки изображения M

Производные в составе системы (2) – это функции чувствительности, входящие в состав ряда Тейлора при решении задачи активной идентификации (по этой причине соответствующая теория обработки изображений в условиях априорной неопределенности называется теорией активного восприятия).

Ряд Тейлора (относительно центра области определения A_0) имеет следующий вид:

$$\varphi(X) - \varphi(A_0) = d\varphi + \frac{1}{2!} d^2\varphi + \frac{1}{3!} d^3\varphi + \dots, \quad (5)$$

где $d^r\varphi$ – полный дифференциал:

$$d^r\varphi = \sum_{k=0}^r C_r^k \frac{\partial^r}{\partial x^{r-k} \partial y^k} dx^{r-k} dy^k, \quad C_r^k = \frac{r!}{k!(r-k)!}. \quad (6)$$

При разложении произвольного изображения по функциональной схеме рис.1 все компоненты вектора $\mu = \{\mu_i\}$ равнозначны (с точки зрения информационной значимости). При наличии шумов на изображении, либо при анализе относительно сложно организованных сцен компоненты вектора «шумят», т.е. исчезают явные локальные экстремумы в линейчатом спектре разложения. Возникает вопрос, а нельзя ли теоретически обосновать информационную значимость компонент разложения изображения. Результаты теоретических исследований, направленные на решение поставленной проблемы, излагаются в данной работе.

Взвешенное U -преобразование

Множество масок F_i , в соответствии с ТАВ, упорядочены на двумерной решетке $V(x, y)$ (рис. 2, [2, 3]), а по диагональным срезам на системе преобразований (4) принадлежат шести первым полным дифференциалам: $d_1 - d_6$.

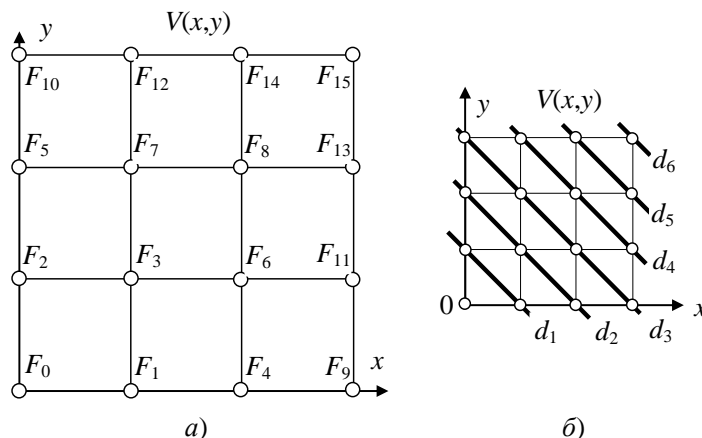


Рис. 2. Двумерная решетка $V(x, y)$ упорядочения масок (а) и срезы d_i на решетке (б)

Три первых полных дифференциала полностью представлены на решетке и реализуются девятью масками – $F_1, F_2, F_4, F_3, F_5, F_9, F_6, F_7, F_{10}$ (нумерация масок по работе [2]):

$$d^1 = \frac{\partial}{\partial x} dx + \frac{\partial}{\partial y} dy; \quad d^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} dx^2 + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} dx dy + \frac{\partial^2}{\partial y^2} dy^2;$$

$$d^3 = \frac{\partial^3}{\partial x^3} dx^3 + 3 \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} dx^2 dy + 3 \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} dx dy^2 + \frac{\partial^3}{\partial y^3} dy^3.$$

Три последних полных дифференциала представлены частично и реализуются масками $F_8, F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}, F_{15}$:

$$d^4 \approx 6 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} dx^2 dy^2 + 4 \frac{\partial^4}{\partial x^3 \partial y} dx^3 dy + 4 \frac{\partial^4}{\partial x \partial y^3} dx dy^3;$$

$$d^5 \approx 10 \frac{\partial^5}{\partial x^3 \partial y^2} dx^3 dy^2 + 10 \frac{\partial^5}{\partial x^2 \partial y^3} dx^2 dy^3; \quad d^6 \approx 20 \frac{\partial^6}{\partial x^3 \partial y^3} dx^3 dy^3.$$

Подставляя выражения полных дифференциалов в (5) с учетом (6), получаем следующий вид ряда Тейлора для потенциальной функции $\varphi(x, y)$ в произвольной точке X области определения относительно центра этой области:

$$\varphi(X) - \varphi(A_0) = \sum_1^3 \mu_i + \frac{1}{2} \sum_4^7 \mu_i + \frac{1}{4} \mu_8 + \frac{1}{6} \sum_9^{12} \mu_i + \frac{1}{12} \sum_{13}^{14} \mu_i + \frac{1}{36} \mu_{15} + 0(\varepsilon). \quad (7)$$

Отсюда следует распределение долевого участия компонент разложения на основе U -преобразования (табл. 1).

Таблица 1

Долевое участие

| F_i | 1-3 | 4-7 | 8 | 9-12 | 13-14 | 15 |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| Кластер | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| % | 49,32 | 24,66 | 12,33 | 8,22 | 4,11 | 1,37 |

При расчете долевого участия компонент вектора разложения принято условие – сумма всех коэффициентов в ряде (7) составляет 100%: $\sum a_i = 2,027(7) \sim 100\%$.

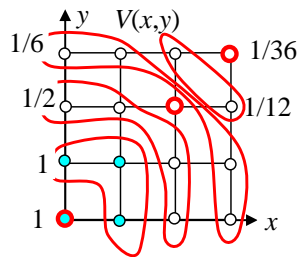


Рис. 3. Кластеры равных долевого участия

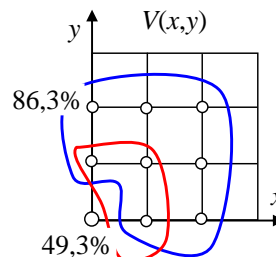


Рис. 4. Максимальный вклад

Таким образом, из анализа ряда Тейлора для U -преобразования на множестве из 15-ти масок (и соответствующих им преобразований из (4)) следует:

1. Существуют подмножества (кластеры), имеющие равный долевого вклад по результатам описания произвольного изображения (табл. 1, рис. 3):

- кластер 1 – $\partial \varphi(x, y) / \partial x, \partial \varphi(x, y) / \partial y; \partial^2 \varphi(x, y) / \partial x \partial y$;
- кластер 2 – $\partial^2 \varphi(x, y) / \partial x^2; \partial^2 \varphi(x, y) / \partial y^2; \partial^3 \varphi(x, y) / \partial x^2 \partial y; \partial^3 \varphi(x, y) / \partial x \partial y^2$;
- кластер 3 – $\partial^4 \varphi(x, y) / \partial x^2 \partial y^2$;
- кластер 4 – $\partial^3 \varphi(x, y) / \partial x^3; \partial^3 \varphi(x, y) / \partial y^3; \partial^4 \varphi(x, y) / \partial x^3 \partial y; \partial^4 \varphi(x, y) / \partial x \partial y^3$;

- кластер 5 – $\partial^5 \varphi(x, y) / \partial x^3 \partial y^2$; $\partial^5 \varphi(x, y) / \partial x^2 \partial y^3$;
- кластер 6 – $\partial^6 \varphi(x, y) / \partial x^3 \partial y^3$.

2. Из табл. 1 видно, что кластер 1 обеспечивает почти 50%-ный вклад, т.е. доленое участие масок данного кластера (а это низкочастотные пространственные компоненты в анализируемом изображении) максимально.

3. Если учесть следующие два кластера, то эти три кластера обеспечивают более 85% информации в общем результате анализа изображения (рис. 4).

4. Оставшиеся три кластера (4, 5, 6), маски которых реализуют относительно высокочастотные преобразования, обеспечивают получение не более 14% информации, относящейся к «малогабаритным» пространственным объектам изображения.

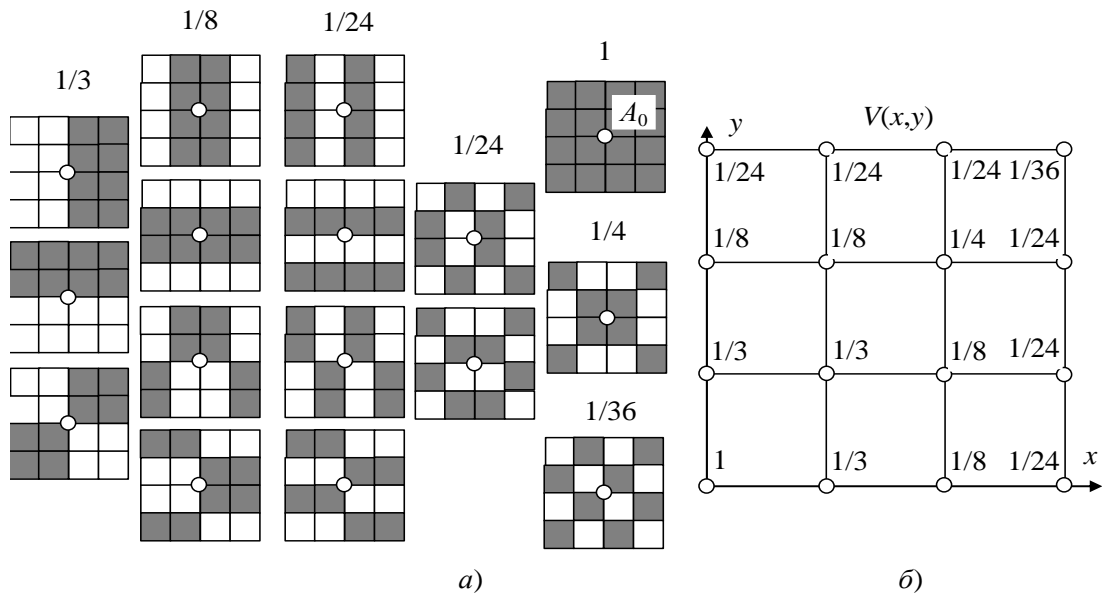


Рис. 5. Поэлементное распределение весовых коэффициентов масок:
 а – внешний вид масок и их веса; б – распределение весов на решетке $V(x,y)$

Каждое преобразование, реализуемое пространственными масками (применяемыми после Q -преобразования), является базисным, т.е. независимым, и одновременно два произвольных преобразования несовместны, т.е. в составе изображения одновременно не может быть образ, соответствующий полному покрытию двух масок, они всегда перекрываются. Поэтому их участие в описании (имеется в виду вероятностная мера) равновероятно и это верно также для масок, входящих в состав кластеров. В результате, учитывая распределения по (7), получаем поэлементное распределение вероятностных долей участия масок, представленное на рис. 5.

На рис. 6 показано изменение вклада масок в зависимости от их принадлежности соответствующим кластерам. На маске F_8 , реализующей преобразование $\partial^4 \varphi(x, y) / \partial x^2 \partial y^2$, наблюдается «всплеск активности».

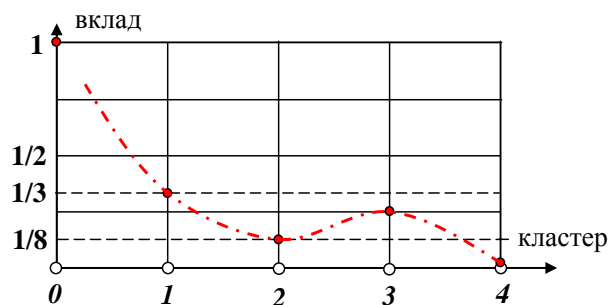


Рис. 6. Изменение вклада масок по их принадлежности

Физико-математические интерпретации

В соответствии с ТАВ, каждой маске F_i соответствует бинарный оператор V_i , аналогично представленный на решетке $V(x, y)$. Для выявления внутренней геометрии многообразия используется касательная в точке A_0 к многообразию, евклидова плоскость, «кусочек» которой с центром A_0 называется планигоном (рис. 5, а).

1. Если маски F_1, F_2 , реализующие преобразования $\partial\varphi(x, y)/\partial x, \partial\varphi(x, y)/\partial y$, выявляют градиентные изменения по направлениям осей x, y декартовой системы координат (и по этой причине максимально значимы при решении задач ориентации в пространстве), то им равнозначна по вкладу маска F_3 , которой соответствует преобразование $\partial^2\varphi(x, y)/\partial x\partial y$, более «специфична».

Каждый фильтр из множества $\{F_i\}$, решая соответствующее дифференциальное уравнение, выявляет интегральную кривую для векторного поля в окрестности точки A_0 . Поэтому F_3 в декартовой системе координат можно поставить в соответствие интегральную кривую вида (рис. 7, а):

$$\mathbf{v} = x \frac{\partial}{\partial y} - y \frac{\partial}{\partial x} \tag{8}$$

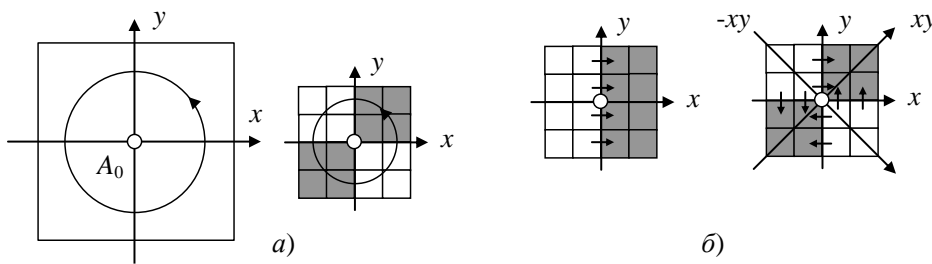


Рис. 7. Интерпретация элементов кластера I:

а – циркуляция для маски F_3 ; б – направления изменения потенциала для F_1 и F_3

Вектору (8) соответствует вектор Киллинга $\mathbf{e}_z = \frac{\partial}{\partial \varphi}$ в сферической системе координат,

где φ – угол поворота вокруг оси z . Следовательно, фильтру F_3 с его преобразованием $\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}$ соответствует потенциальное течение циркуляции с особенностью в точке A_0 . В этой точке вдоль оси z существует изолированный вихрь конечной интенсивности с бесконечной угловой скоростью ω .

С другой стороны, если рассматривать направление градиента относительно линии раздела подобластей, например, маски F_1 , то изменение потенциала происходит из подобласти -1 координаты x в $+1$ подобласть. Для F_3 аналогичные изменения наблюдаются для подобластей координат $-xy$ и xy , т.е. подобласти значимости данного фильтра принадлежат диагональной системе координат (рис. 7, б). Следовательно, данная маска (и оператор) отражает преобразование градиента в новой системе координат $-xy, xy$, и ему соответствует преобразование $\frac{\partial}{\partial z_w}$, где направление z_w есть направление xy , точнее, $x = y$.

Таким образом, кластер I, состоящий из элементов F_1, F_2, F_3 , (и им соответствующих операторов V_1, V_2, V_3), – это кластер «градиентных изменений». При этом оператор V_3 (маска F_3) двойственен:

- в декартовой системе координат ему соответствует потенциальное течение циркуляции с особенностью в центре планигона;
- в новой (диагональной) системе координат линейное потенциальное течение обеспечено градиентом. С позиций проективной геометрии – это направление в несобственную точку проективной плоскости (планигон, как картинного пространства), (рис. 8).

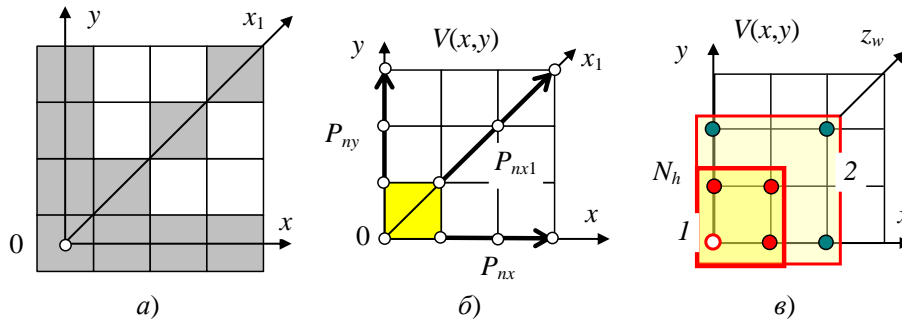


Рис. 8. Координатные направления перцептивного пространства E^3 :
a – на планигоне; *б* – решетке; *в* – двуслойном планигоне (*1, 2* – слои)

Изложенное обосновывает информационную значимость элементов кластера *I*, которые образуют тройку операторов (V_1, V_2, V_3) , являющуюся алгебраической группой (в ТАВ такие группы называются полными). Из вершин графа группы (на рис. 8, б кластер выделен) по направлениям x, y, x_1 «растут» три орграфа соответствующих полных групп.

2. Рассмотрим тройку (V_4, V_5, V_8) , образующую полную группу. Если первая полная группа (V_1, V_2, V_3) на решетке принадлежит первому срезу (слою) в глубину z_w перцептивного пространства по направлению x_1 (рис. 8, или xu по рис. 7), то вторая – (V_4, V_5, V_8) принадлежит следующему слою по направлению глубины (рис. 8, в).

Если первая группа на системе преобразований – группа градиента, то вторая – группа дивергенции. Действительно.

Уравнение Лапласа для скалярной функции

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}.$$

Если первым двум компонентам в этом уравнении соответствуют операторы V_4, V_5 , то третьей компоненте – оператор V_8 с преобразованием

$$\frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} \equiv \frac{\partial^2}{\partial z_w^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial z_w^2} \right) \equiv \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

в системе координат внешнего наблюдателя (рис. 9).

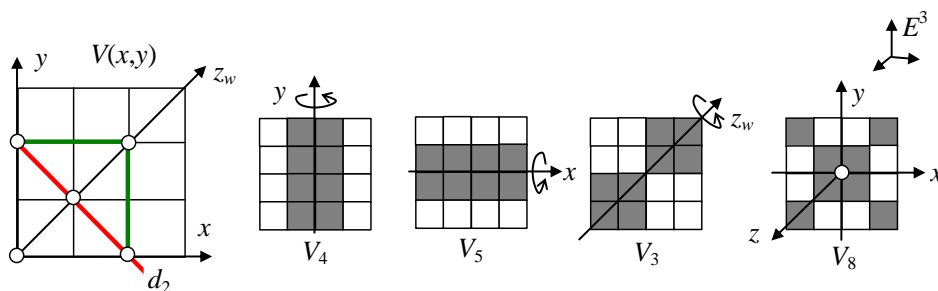


Рис. 9. Интерпретации компонент второго дифференциала и оператора V_8

Поскольку в пространстве определены преобразования градиента и дивергенции, то перцептивное пространство внешнего наблюдателя, представленное на планигоне (рис. 8, а), или представленное через преобразования на решетке $V(x, y)$, – это пространство скалярного потенциала.

Для определения векторного поля полем скалярного потенциала в трехмерном (внешнем) пространстве достаточно существования первого полного дифференциала

$$d\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial\varphi}{\partial y} dy + \frac{\partial\varphi}{\partial z} dz,$$

где компоненты соответствуют преобразованиям, реализуемыми масками F_1, F_2, F_3 . Отсюда (снова) следует информационная значимость элементов кластера I .

3. В состав третьего полного дифференциала входят операторы V_6, V_7, V_9, V_{10} с преобразованиями. Компоненты этого дифференциала входят в состав уравнения Пуассона вектора угловой скорости ω как функции векторного потенциала \mathbf{a} : $\omega = \frac{1}{2} \text{rot rot } \mathbf{a}$ или

$$\begin{cases} \nabla^2 a_x = -2\omega_x; \\ \nabla^2 a_y = -2\omega_y; \\ \nabla^2 a_z = -2\omega_z. \end{cases}$$

С другой стороны, для кругового потенциального течения с изолированным вихрем данные уравнения следует рассматривать независимо друг от друга, т.е. как три варианта ориентированных плоскостей со своими изолированными вихрями (рис. 10). В этом случае допустима следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial^3}{\partial x^3} + \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3}{\partial x \partial z^2} = -2\omega_x; \\ \frac{\partial^3}{\partial y^3} + \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3}{\partial y \partial z^2} = -2\omega_y; \\ \frac{\partial^3}{\partial z^3} + \frac{\partial^3}{\partial z \partial x^2} + \frac{\partial^3}{\partial z \partial y^2} = -2\omega_z. \end{cases}$$

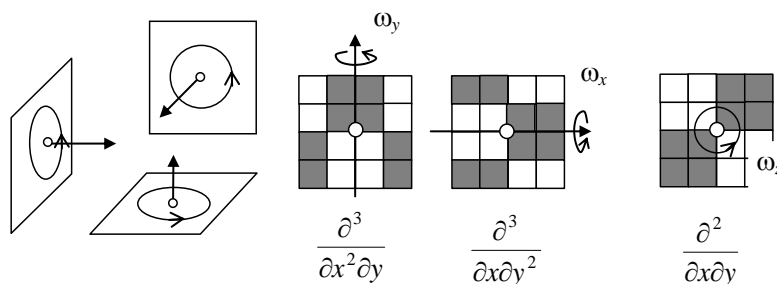


Рис. 10. Три вида изолированных вихрей

Уравнение Пуассона выполняется при условиях, что поле является вихревым, а градиент и дивергенция поля равны нулю, т.е. в системе декартовых координат в разложении отсутствуют компоненты, соответствующие операторам $(V_1, V_2), (V_4, V_5, V_8)$. В этом случае имеем следующее соответствие между компонентами уравнения Пуассона и операторами:

$$\left(\frac{\partial^3}{\partial x^3}; \frac{\partial^3}{\partial x \partial y^2} \right) \Rightarrow (V_9; V_7); \quad \left(\frac{\partial^3}{\partial y^3}; \frac{\partial^3}{\partial x^2 \partial y} \right) \Rightarrow (V_{10}; V_6).$$

Итак, третьему полному дифференциалу с операторами (V_6, V_7, V_9, V_{10}) соответствует уравнение Пуассона. Поэтому это пространство, представленное через соответствующие преобразования на решетке операторов, разделяют пространства скалярного и векторного потенциалом. Первому соответствует пространство внешнего наблюдателя, второму – внутреннего.

Так как $\text{rot} \text{rota} = \text{grad} \text{div} \mathbf{a} - \nabla^2 \mathbf{a}$, то операторы V_9, V_{10} допускают следующие две интерпретации (двойственность):

- компоненты $\text{grad} \text{div} \mathbf{v}$ поля скалярного потенциала φ , где $\mathbf{v} = \text{grad} \varphi$;
- компоненты $\text{rot} \text{rota}$ поля векторного потенциала \mathbf{a} (при дополнительном условии).

В этом случае операторы V_9, V_{10} в составе полных групп $(V_1, V_4, V_9), (V_2, V_5, V_{10})$ внешнего наблюдателя «выполняют» роль в составе поля скалярного потенциала, а в составе полной группы (V_9, V_{10}, V_{15}) – поля векторного потенциала.

Таковы физико-математические интерпретации для задачи понимания масок (операторов), наделенных свойством максимального вклада в анализ произвольного изображения при построении модели «внутреннего мира» – перцептивного пространства внешнего относительно планигона наблюдателя.

Заключение

В работе с позиций анализа ряда Тейлора в полных дифференциалах, используемого при активной идентификации объекта управления, доказывается возможность информационного обоснования компонент U -преобразования.

Показано следующее:

1. Компоненты U -преобразования, упорядоченные на двумерной решетке реализуемых преобразований, входят в состав шести полных дифференциалов.
2. Компоненты U -преобразования по значимости (весовому коэффициенту) образуют кластеры равных весовых значений и упорядочиваются по значимости.
3. Три первых кластера, упорядоченных по значимости, обеспечивают максимальный вклад в результаты анализа, три последних – высокочастотных менее значимы.
4. Кластеру с максимальным весовым коэффициентом соответствуют три низкочастотные составляющие преобразования, отвечающие за ориентацию в пространстве – построение внутренней системы координат перцептивного пространства.
5. Преобразования, соответствующие второму полному дифференциалу и восьмой компоненте U -преобразования, обеспечивают формирование направления глубины в перцептивном пространстве.
6. Восьмая компонента U -преобразования – единственный элемент своего компакта – по значимости (за исключением элементов первого кластера) максимальна (рис. 6) и отвечает за связь внутренней системы координат с внешней, позволяя тем самым определить место наблюдателя во внешней среде.
7. Преобразования, входящие в состав третьего полного дифференциала, принадлежат уравнению Пуассона и выступают в роли «пространства, разделяющего внешний и внутренний мир» наблюдателя. С позиций физики – разделение сред скалярного и векторного потенциалов.

Библиографический список

1. **Утробин, В.А.** Компьютерная обработка изображений: Информационные модели этапа понимания / В.А. Утробин. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. – 247 с.

2. **Утробин, В.А.** Компьютерная обработка изображений. Анализ и синтез / В.А. Утробин. – Н. Новгород: НГТУ, 2013. – 246 с.
3. **Утробин, В.А.** Физические интерпретации элементов алгебры изображения // УФН. 2004. Т.174. №10. С. 1089–1104.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

V.A. Utrobin

SIGNIFICANCE OF INFORMATION OF *U*-TRANSFORM COMPONENTS IN SOLVING THE PROBLEM OF ORIENTATION IN SPACE FOR VISION SYSTEMS

Nyzhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Building a perceptual (internal observer) space as an external model based on video surveillance.

Method: From the perspective of the theory of active perception, involving the physical-mathematical apparatus investigated the spectral decomposition of the newsworthiness of a priori uncertain picture for description and understanding of the observed images.

The result / area of application: Using of physical and mathematical interpretations of supervised classifications, to prove the existence of change inherent in a system of visual perception of human acceptance of *pâtimernomu* space. The result is the ability to assess the depth of *tencial'naâ* even from the vision of one eye (*monoste-rivospriâtîâ*). Therefore, the system of visual perception uses, with positions on the observed image *nimaniâ*-physical concepts of scalar and vector capacities. Research results would have important applications in machine vision systems.

Conclusions: The studies proved theoretically informational value low-frequency spatial components of the expansion for the task orientation in the environment, assess the position of the observer in this environment, and in-depth assessments of perceptual space.

Key words: visual perception, physical-mathematical interpretation, spatial models.

УДК 007.51

Н. В. Марочкин

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ РАБОТ ДЛЯ АНАЛИЗА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводятся результаты экспериментального исследования двигательной активности человека в условиях нерегламентированной деятельности. Для анализа предлагается метод выделения работ. Выявлены закономерности изменения характеристик работ. Даются рекомендации по использованию результатов исследования при создании индивидуальных человеко-машинных систем

Ключевые слова: индивидуальная человеко-машинная система, репродуктивно-преобразующая машина, продуктивно-преобразующая машина, интерфейс взаимодействия, двигательная активность, субъективная оценка трудности деятельности, информационное взаимодействие, производительность работ, скорость роста и спада двигательной активности человека.

Введение

В условиях повышенного внимания к созданию систем с элементами искусственного интеллекта и самого искусственного интеллекта важным представляется сохранить главенствующую роль естественного интеллекта на основе его эффективного взаимодействия с техническими средствами. Индивидуальные человеко-машинные системы, постоянно присутствующие в жизни каждого человека, – один из возможных способов решения проблемы. Метод выделения работ позволяет за счет их разделения и измерения параметров определить субъективную оценку трудности разнообразной деятельности человека.

Индивидуальные человеко-машинные системы

Индивидуальная человеко-машинная система включает человека, индивидуальные технические средства, физическую и социальную среду, взаимодействующие для повышения качества жизни человека. Качество жизни – степень удовлетворенности человека своим физическим, психическим и социальным состоянием [1]. Индивидуальные человеко-машинные системы следует отнести к гуманистическим системам, системам с участием человека. Цель человека в индивидуальной человеко-машинной системе – получение информации, поэтому такую систему следует назвать эргатической (для получения продукта труда в виде информации [2]). Эргатические системы по критерию распределения функций подразделяют на системы с простыми орудиями труда (инструментами) и с орудиями труда в виде машин (часть переработки информации отчуждается от человека) [3]. В индивидуальной человеко-машинной системе инструменты – это датчики, измеряющие параметры среды, уровень радиации, уровень освещенности, уровень шума, наличие вредных примесей в воде и воздухе, это технические средства контактного и бесконтактного контроля функционирования различных систем организма человека. С помощью инструментов человек точно и своевременно оценивает свое состояние и состояние среды для принятия решения, реализуемого через деятельность (рис. 1). Индивидуальная человеко-машинная система с репродуктивно-преобразующей машиной (рис. 2), содержит вычислительную машину с заданным алгоритмом функционирования.

Вычислительная машина собирает данные с датчиков состояния человека и среды, (Д). Результаты оценки текущего и прогнозируемого состояния в необходимом объеме и виде предоставляются через интерфейс общения. Человек точно и своевременно оценивает свое состояние и состояние среды для принятия решения, реализуемого через деятельность.

Индивидуальная человеко-машинная система с продуктивно-преобразующей машиной (рис. 3) использует машину для подготовки варианта решения, которое может быть реализовано через деятельность. Для формирования такого решения машина дополнительно оценивает деятельность человека через наблюдение и общение. Алгоритм машины не статический, а развивающийся в направлении получения эффективных решений.

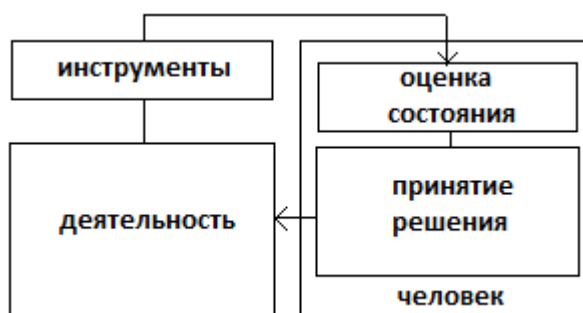


Рис. 1. Индивидуальная человеко-машинная система с инструментами

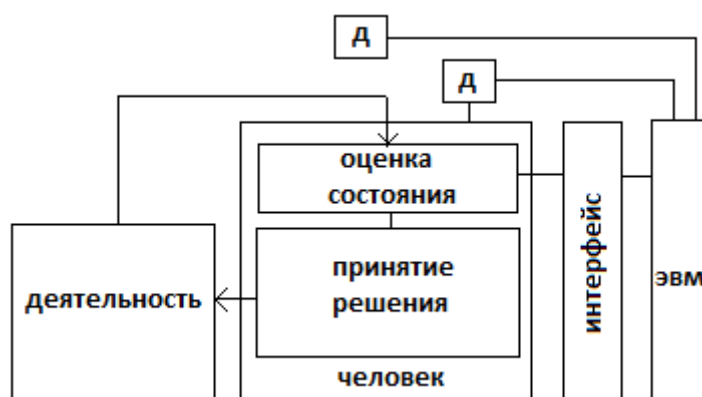


Рис. 2. Индивидуальная человеко-машинная система с репродуктивно-преобразующей машиной

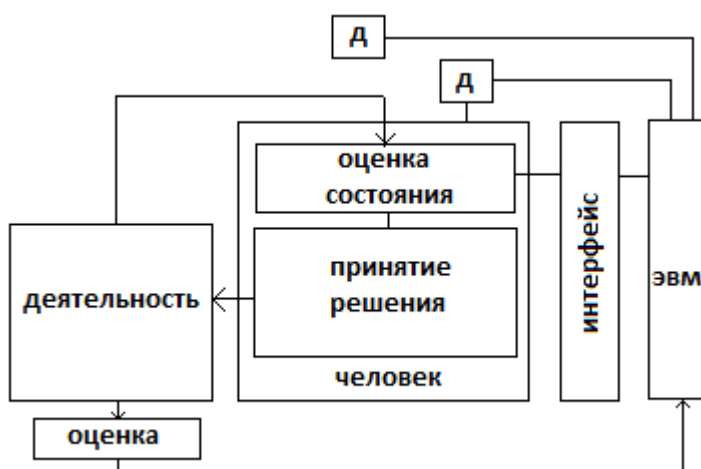


Рис. 3. Индивидуальная человеко-машинная система с продуктивно-преобразующей машиной

Метод выделения работ

Непрерывное измерение двигательной активности человека (число изменений ускорения тела, рук или ног человека в единицу времени) [4] позволяет дать общее описание разнообразной деятельности человека на протяжении дней, месяцев, лет. На рис.4 показаны временные диаграммы изменения двигательной активности человека для различных по субъективной оценке трудности дней: нормального (*б*), легче нормального (*а*) и труднее нормального (*в*) дня. Субъективная оценка трудности дня давалась относительно трудности (общего объема затрат физического и умственного труда) для нормального дня (обычного для последнего времени), и могла быть нормальной, легче или труднее нормальной. Известно, что нормальной трудности дня соответствуют наилучшие показатели теста субъективной оценки самочувствия активности и настроения САН [4, 5].

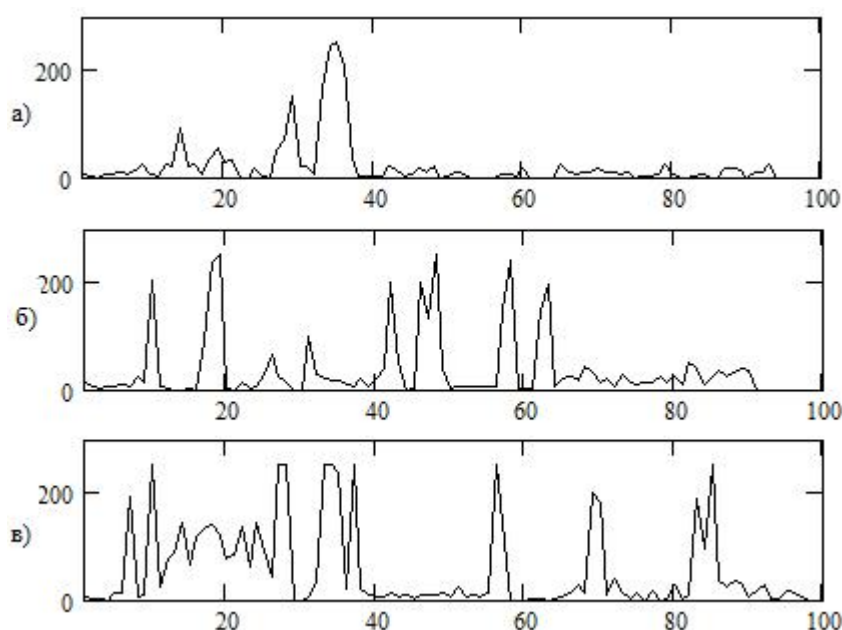


Рис. 4. Временные диаграммы изменения двигательной активности человека для нормального (*б*), легче нормального (*а*) и труднее нормального (*в*) дня, время в 10-минутных интервалах, деятельность не регламентирована

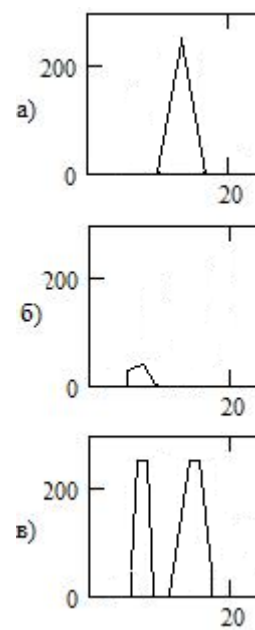


Рис. 5. Примеры работ, выделенных из записи на рис. 4

Двигательную активность на рис. 4 представим состоящей из последовательности работ, каждая из которых характеризуется начальной двигательной активностью, ростом двигательной активности, участком постоянства, спадом активности, конечной двигательной активностью. На рис. 5 показаны примеры работ, выделенных из записи на рис. 4, работы составлены из отрезков прямых, на участках роста и спада выбиралась средняя величина наклона (скорости роста или спада). Анализ максимумов работ выявил различия в вероятности появления работ.

На рис. 6 приведена гистограмма максимумов работ. Она строилась для различных по субъективной оценке трудности дней: легче нормальных (*а*), нормальных (*б*) и труднее нормальных (*в*). Характер изменения гистограммы для всех вариантов одинаков. Из гистограмм следует, что работы можно разделить на большие (>20) и малые (≤ 20). Большие работы характеризуются своей формой и временным положением. На рис. 7 показаны усредненные формы и временное положение больших работ, которые изменяются с изменением субъективной оценки трудности дня. Малые работы также характеризуются своей формой (могут быть нулевого уровня) и следуют друг за другом, уступая место большим работам. Форма работ изменяется с изменением субъективной оценки трудности дня (рис. 8).

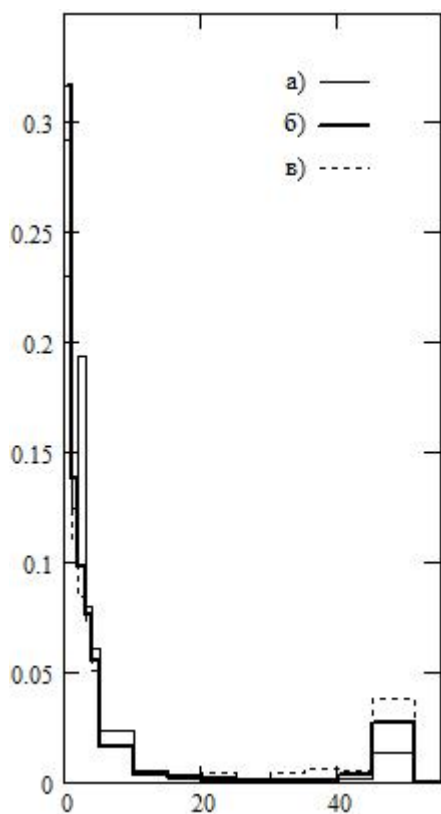


Рис. 6. Гистограмма максимумов работ для различных по субъективной оценке трудности дней:
a – для дней по субъективной оценке трудности легче нормальных; *b* – нормальных; *v* – труднее нормальных

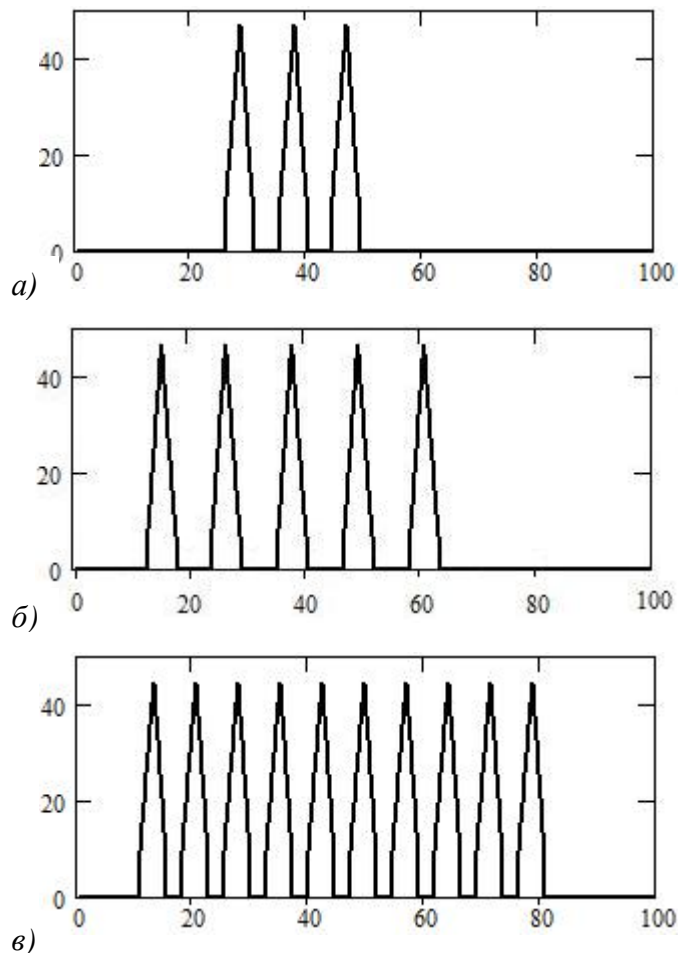


Рис. 7. Усредненная форма и положение больших работ для различных по субъективной оценке трудности дней:
a – для дней по субъективной оценке трудности легче нормальных; *b* – нормальных; *v* – труднее; время по оси абсцисс в 10-минутных интервалах, по оси ординат – количество изменений ускорения тела человека, фиксируемое датчиком двигательной активности

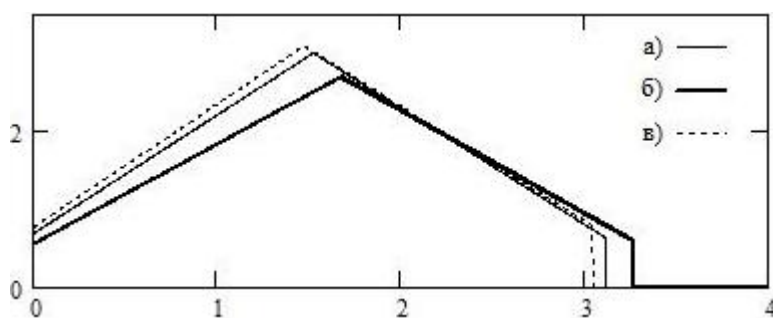


Рис. 8. Форма малых работ:
a – для дней по субъективной оценке трудности легче нормальных;
b – нормальных; *v* – трудности труднее нормальных

Анализ формы отдельных работ показывает, что работы для нормальных по субъективной оценке трудности дней существенно отличаются от работ в дни легче и труднее нормальных по субъективной оценке трудности. В качестве характеристики работ использовались следующие: *P* - средняя производительность работ, *Sr* - скорость роста двигательной

активности, Ss - скорость спада двигательной активности. Результаты, нормированные относительно средних значений P_n производительности, Sr_n - скорости роста двигательной активности, Ss_n - скорости спада двигательной активности для нормальных по субъективной оценке трудности дней отдельно для больших и малых работ показаны на рис. 9, рис. 10. Средняя производительность больших и малых работ в дни с нормальной субъективной оценкой трудности оказалась наименьшей. Можно предположить, что это следствие того, что деятельность в эти дни обычная, известная, эффективная.

Эффективной ее можно назвать потому, что в эти дни субъективная оценка самочувствия, активности, настроения самая высокая, а производительность работ наименьшая. Малые работы для нормальных по субъективной оценке трудности дней (рис. 9, б), характеризуются также наименьшей скоростью роста и спада двигательной активности. Для больших работ (рис. 9, а) эта закономерность не соблюдается.

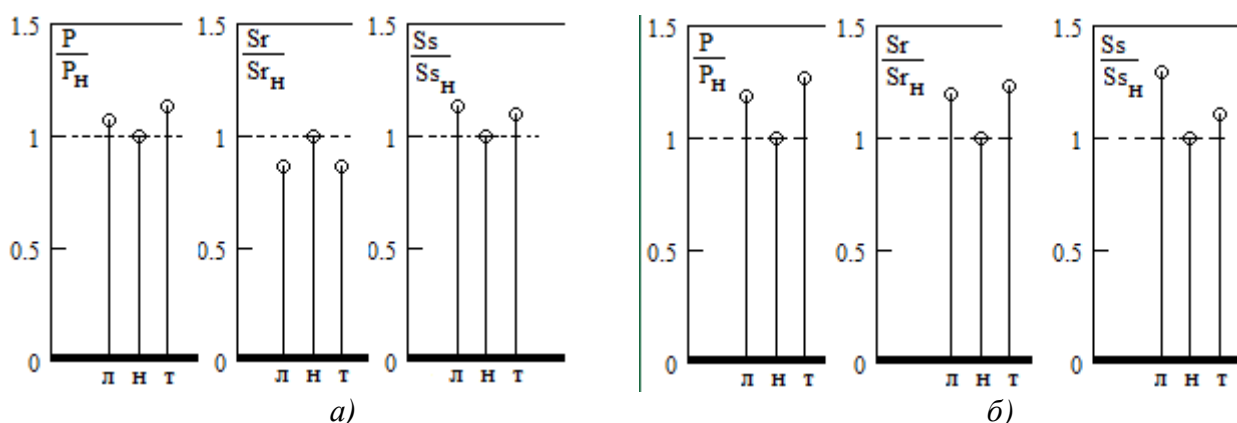


Рис. 9. Характеристики больших (а) и малых (б) работ:

P – производительность; Sr – скорость роста двигательной активности; Ss – скорость спада двигательной активности; нормированы относительно средних значений для нормальных по субъективной оценке трудности дней (P_n , Sr_n , Ss_n) и показаны точками для соответствующих дней (л - легче нормальных, н - нормальных, т - труднее нормальных по субъективной оценке трудности)

Деятельность человека меняется и характеризуется различной субъективной оценкой трудности (общего объема затрат физического и умственного труда) деятельности в разные дни. Тем не менее, это деятельность одного человека, хотя и с разной нагрузкой, характеристикой этой деятельности, независимой от нагрузки, может быть выражена отношением среднеквадратических отклонений амплитуд больших и малых работ (рис. 11). Это отношение слабо зависит от субъективной оценки трудности деятельности человека.

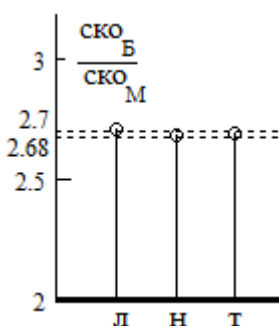


Рис. 11. Отношение среднеквадратических отклонений больших и малых работ для соответствующих дней:

л - легче нормальных; н – нормальных;
т - труднее нормальных по субъективной оценке трудности

Предлагаемый метод анализа двигательной активности можно применять при изучении динамики возрастного изменения двигательной активности человека и влияния на эту динамику прогнозирования, осуществляемого индивидуальной человеко-машинной системой.

Заключение

Выделение отдельных работ в двигательной активности человека позволяет получить дополнительные данные о двигательной активности произвольной (нерегламентированной) деятельности человека на протяжении дней, месяцев, лет.

Анализ гистограмм максимумов работ показал существенную разницу в вероятности появления больших и малых работ. Предложено проводить анализ формы работ отдельно для больших и малых работ. В качестве количественных характеристик работ предложено использовать производительность (отношение средней двигательной активности к продолжительности работы), скорость роста и спада двигательной активности. Оценка производительности работ позволяет косвенно определить субъективную оценку трудности деятельности человека. Экспериментально показано, что нормальной субъективной оценке трудности дня соответствует минимальная производительность больших и малых работ. Выделение малых работ и анализ их формы целесообразно использовать для оперативной настройки информационного взаимодействия человека с вычислительной машиной и другими техническими средствами в индивидуальных человеко-машинных системах.

Библиографический список

1. **Вогралик, В.Г.** Можно ли продлить жизнь? / В.Г. Вогралик. – Нижний Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 1997. – 157 с.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: справочник; под ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
3. **Зараковский, Г.М.** Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
4. **Марочкин, Н.В.** Способ непрерывного контроля двигательной активности человека / Н.В. Марочкин, патент №2422085 от 27.06.2011.
5. **Батаршев, А.В.** Психология индивидуальных различий: от темперамента – к характеру и типологии личности / А.В. Батаршев. – М.: Владос, 2000. – 256 с.

*Дата поступления
в редакцию 16. 05. 2013*

N.V. Marochkin

ANALYSIS OPERATION ACTIVITY METHOD IN INDIVIDUAL MAN-MACHINE SYSTEM BY CHOOSING OPERATIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The paper considers individual man-machine system research method.

Design/methodology/approach: the statistical method is the basis of suggested method.

Findings: developed method may be used to create individual man-machine systems. Advantage of proposed method is the possibility to research individual any activity.

Research results: The results may be used in creating individual man-machine systems. They allow individual man-machine system be adapted to individual conditions.

Key words: individual man-machine system, repeat machine, create machine, mutual understanding, operation activity, individual human operation difficulty, information mutual assistance, operation's productivity, human operation activity rising and drop velocity.

УДК 681.3.513

Е.А. Никулин

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Тема: исследование эффектов, возникающих при вращении объектов с циклической периодичностью строения, в условиях импульсного освещения, кино-, телесъемки и компьютерной анимации.

Цель: Получение формулы и построение графиков зависимости кажущейся частоты вращения от влияющих на нее величин.

Метод решения: использование модульной функции $\text{mod}(f,m)$.

Оригинальность: математически объяснены широко известные оптические иллюзии, называемые стробоскопическим эффектом.

Выводы: в работе всесторонне изучены свойства стробоскопического эффекта, возникающего при дискретной визуализации движущихся объектов.

Ключевые слова: вращение, частота, кадр, стробоскопический эффект.

Всем знаком оптический обман зрения, возникающий при просмотре фильма с движущимся автомобилем, велосипедом, вертолетом или вентилятором, когда кажется, что спицы колеса или лопасти пропеллера неподвижны (рис. 1, а) либо вращаются не с истинными скоростями и направлениями. Причина такого эффекта, называемого стробоскопическим, – временная дискретность визуализации движения, выхватывающая из непрерывной реальности отдельные кадры. Если за межкадровый промежуток времени объект, имеющий периодичность строения в направлении движения (рис. 1, б), перемещается в визуально идентичное состояние, то возникает ощущение его неподвижности. При небольшом разбалансе частоты смены кадров со скоростью движения начинает казаться, что объект медленно перемещается в положительном либо отрицательном направлениях. Стробэффект может возникать не только в кинематографе и телевидении, где частота кадров равна 24 Гц, но и в компьютерной анимации с гораздо большей частотой обновления экрана. Опасные для жизни и здоровья последствия эффекта возникают при освещении производственных помещений люминесцентными лампами с частотой мерцания 100 Гц, где может создаться ложное ощущение неподвижности обрабатывающих инструментов или острых лопастей вентилятора (рис. 1, в).



а)



б)



в)

Рис. 1. Стробоскопический эффект

Возьмем в качестве объекта изучения колесо с N спицами, равномерно распределенны-

ми по кругу с угловым шагом $\sigma = 2\pi/N$ (рад) (рис. 2, а). Обозначим частоту вращения колеса как f_b (Гц), а частоту кадров, фиксирующих его положение, как f_k (Гц). Поставим задачу вычисления *кажущейся частоты вращения* (КЧВ) колеса F (Гц) и ее зависимости от f_b, f_k и N .

В зависимости от соотношения между числом спиц и частотами вращения и фиксации возможны следующие случаи:

- иллюзия неподвижности вращающегося колеса объясняется совпадением (с точностью до нумерации) положения спиц на следующем кадре с их положением на предыдущем. Очевидно, что это всегда случится при повороте колеса за один кадр ровно на один оборот, т. е. на частоте вращения $f_b = f_k$. Если же в конструкцию колеса заложена циклическая периодичность, то минимальная частота его вращения, при которой КЧВ $F = 0$, составляет

$$f_0 = \frac{f_k}{N}. \quad (1)$$

На этой частоте колесо за один кадр поворачивается на угол σ (рис. 2, б). Оно также будет казаться неподвижным на всех кратных частотах $f_b = kf_0$, где k — целое число;

- на частотах $f_b = f_0/2 + kf_0$ непрономерованные спицы станут видны повернутыми на угол $\sigma/2$, а частота F разным наблюдателям может восприниматься как $f_0/2$, так и $-f_0/2$;
- при вращении колеса с частотой $f_b \in (0, f_0/2) + kf_0$ кажущийся угол поворота $\varphi \in (0, \sigma/2)$ (рис. 2, в) создаст ощущение положительной частоты вращения $F \in (0, f_0/2)$;
- на частоте $f_b \in (f_0/2, f_0) + kf_0$ угол поворота $\varphi \in (-\sigma/2, 0)$ и КЧВ $F \in (-f_0/2, 0)$ покажутся отрицательными (рис. 2, г).

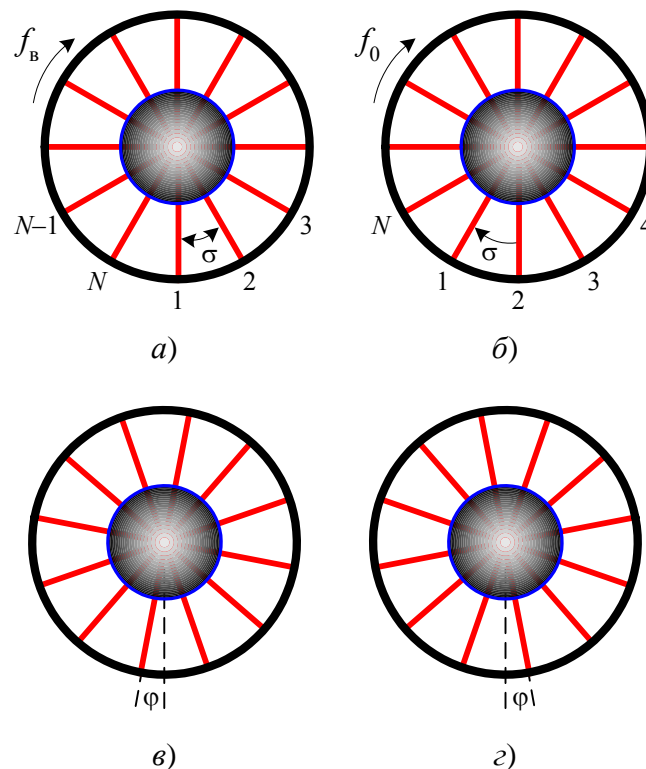
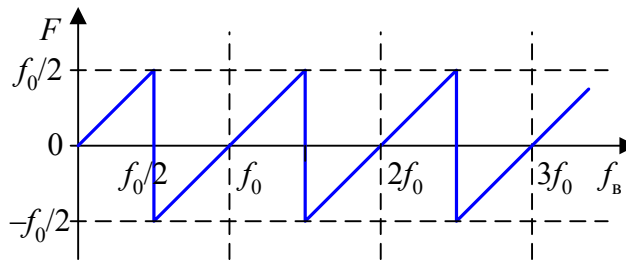


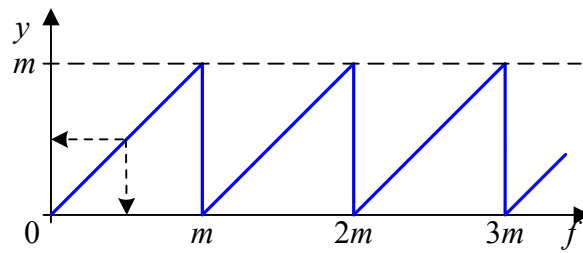
Рис. 2. Состояния вращающегося колеса

Таким образом, зависимость кажущейся частоты вращения F от истинной частоты f_b и определенной в (1) частоты покоя f_0 описывается графиком на рис. 3, а. Ее аналитическое выражение с периодом повторения f_0 может быть получено двумя сдвигами модульной функции $y(f, m) = \text{mod}(f, m)$, возвращающей остаток от деления f на m согласно графику на рис. 3, б, влево и вниз на $m/2$, где $m = f_0$:

$$F(f_B, f_K, N) = \text{mod}\left(f_B + \frac{f_K}{2N}, \frac{f_K}{N}\right) - \frac{f_K}{2N}. \quad (2)$$



а)



б)

Рис. 3. Кажущаяся частота и модульная функция

Рассмотрим для примера съемку колеса, имеющего $N = 12$ спиц (рис. 2), со скоростью $f_K = 24$ кадра в секунду. Пусть частота его вращения задана по (1) равной $f_B = 2$ Гц, тогда за полсекунды, т. е. за $f_K/2 = 12$ кадров, совершится полный оборот, а за один кадр колесо повернется на один угловой шаг $\sigma = 2\pi/N$ и возникает ощущение его неподвижности. При меньшей частоте вращения, например, $f_B = 1.5$ Гц колесо за кадр повернется вперед на угол 0.75σ , а покажется, что оно повернулось назад на -0.25σ , т. е. $F = -0.25f_B = -0.5$ (Гц). Такой же КЧВ получается и по (2): $F = \text{mod}(1.5 + 1, 2) - 1 = -0.5$ (Гц).

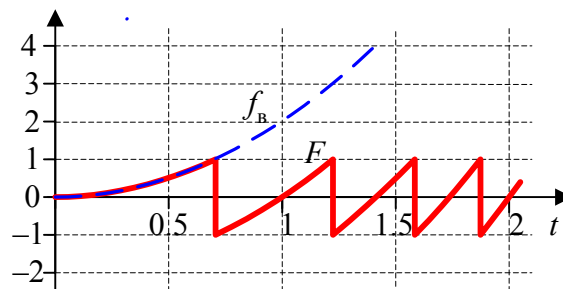
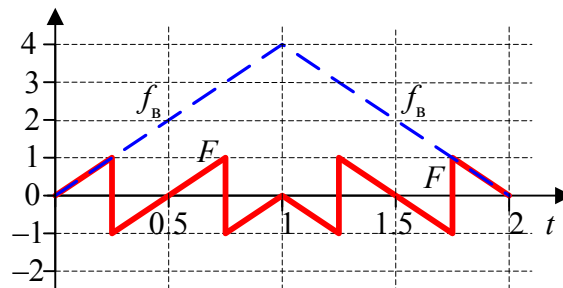


Рис. 4. Кажущаяся частота неравномерного вращения

Если скорость вращения не постоянна во времени, то будет казаться, что колесо, то разгоняясь, то тормозя, крутится то в одну, то в другую сторону, а иногда вообще останавливается. Это демонстрируют графики $F(t)$ на рис. 4, построенные по (2) при линейном и равноускоренном изменениях частоты вращения колеса $f_b(t)$. При каждом достижении частотой $f_b(t)$ значений kf_0 кажется, что колесо остановилось, а при пересечении ею уровней $f_0/2 + kf_0$ кажущееся направление вращения скачком изменяется на противоположное.

Исследуем зависимость (2) от двух других параметров, приняв фиксированные параметры $f_b = 2$ (Гц), $f_k = 24$ (Гц) и $N = 12$:

- с ростом частоты кадров f_k КЧВ ведет себя согласно графику на рис. 5,а. Скачкообразные изменения направления кажущегося вращения происходят на частотах f_k , удовлетворяющих условию

$$\text{mod}\left(f_b + \frac{f_k}{2N}, \frac{f_k}{N}\right) = 0 \Rightarrow f_b + \frac{f_k}{2N} = k \frac{f_k}{N} \Rightarrow f_k = \frac{2f_b N}{2k-1} \quad \forall k=1,2,3,\dots \quad (3)$$

Существует такая частота съемки, выше которой КЧВ совпадает с истинной частотой f_b . Она получается из (3) при $k = 1$: $f_1 = 2f_b N = 48$ (Гц). На других частотах $f_2 = f_1/3, f_3 = f_1/5, \dots$ происходит инверсия направления кажущегося вращения. На частотах съемки $f_k = f_b N / k = 24/k$ (Гц) при $k = 1, 2, 3, \dots$ возникает иллюзия неподвижного колеса. В пределе $f_k \rightarrow 0$ кадры следуют все реже и реже, из-за чего возникает ощущение, что вращение колеса останавливается;

- с ростом числа N КЧВ ведет себя согласно графику на рис. 5,б. Скачкообразные изменения направления кажущегося вращения происходят при N , удовлетворяющих условию

$$\text{mod}\left(f_b + \frac{f_k}{2N}, \frac{f_k}{N}\right) = 0 \Rightarrow f_b + \frac{f_k}{2N} = k \frac{f_k}{N} \Rightarrow N_k = \frac{(2k-1)f_k}{2f_b} \quad \forall k=1,2,3,\dots \quad (4)$$

Существует такое число N_1 , до которого кажущаяся F и истинная f_b частоты вращения колеса совпадают. Оно получается из (4) при $k = 1$: $N_1 = f_k / 2f_b = 6$. При других значениях $N_2 = 3N_1, N_3 = 5N_1, \dots$ происходит инверсия направления кажущегося вращения. У колес с числом спиц $N = kN_1 = 12k$ при $k = 1, 2, 3, \dots$ возникает иллюзия неподвижности. В пределе $N \rightarrow \infty$ спицы сливаются в сплошной круг, вращение которого неощутимо.

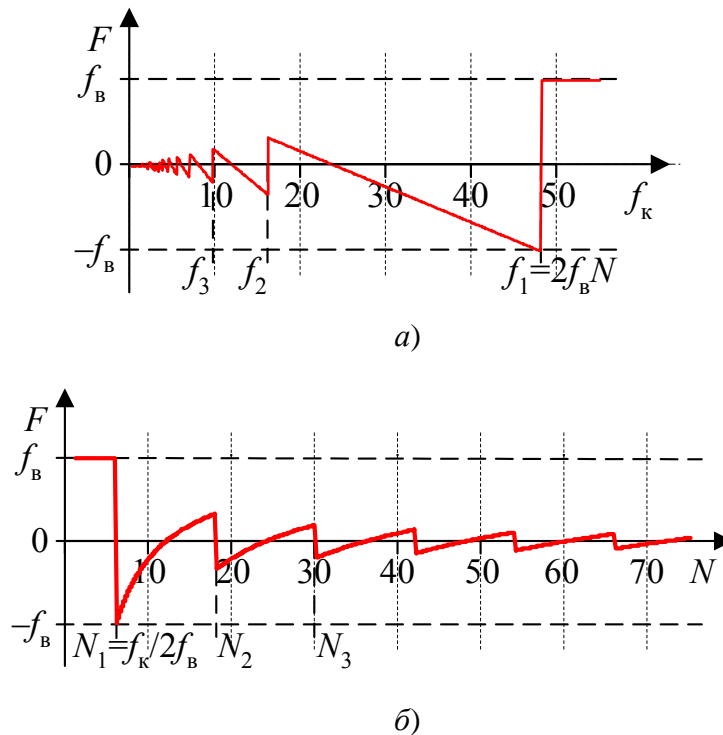


Рис. 5. Зависимости КЧВ от частоты кадров и числа спиц

Дата поступления
в редакцию 15.07.2013

E.A. Nikulin

STROBOSCOPE EFFECT SURVEY

Nyzhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Subject: Surveying effects caused by revolution of objects with cyclic recurrence in an impulse illumination environment like filming or computer animation.

Purpose: Formalize and plot a dependence of imaginary rotation frequency against influencing factors.

Methodology: Utilization of a modulus function $\text{mod}(f,m)$.

Originality/value: Mathematical description of a widely known optical illusion, called a stroboscope effect, is obtained.

Findings: Deep investigation of stroboscope effect properties, caused by discrete visualization of moving objects, is accomplished.

Key words: rotation, frequency, frame, stroboscope effect.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621. 9. 620.186.415

Ю.Г. Кабалдин

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СБОРКИ НАНОСТРУКТУР

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Рассмотрены принципы сборки наноструктур на основе информационной модели межэлектронного обменного взаимодействия атомов. Информационное содержание атомов и нанокластеров характеризует их фрактальная размерность. Информационная модель атомной сборки реализована на примере осаждения наноструктурных покрытий для режущего инструмента.

Ключевые слова: модель атома, атомная сборка, наноструктуры, режущий инструмент.

В настоящее время издан ряд монографий, посвященных технологиям синтеза, классификации и области применения функциональных наноматериалов. Как показывает анализ, получение наноматериалов проводится экспериментальным путем, так как отсутствует научно обоснованная теория наноструктурирования. Анализ состояния проблемы синтеза наноматериалов показывает, что в настоящее время разработка теоретических основ нанотехнологий базируется на фундаментальных положениях квантовой механики, квантовой физики и квантовой химии. Дело в том, что свойства веществ начинают нарушаться при размерах, составляющих десятые доли микрометра. За этой чертой начинается область, подчиняющаяся квантовым законам. В этой области уже не работают законы классических технологий. И с этой точки зрения нанотехнология является квантовой.

Таким образом, человечество вступает в новую область, в которой исчезнет грань между живой и неживой природой. В этой связи нанотехнологию еще называют молекулярным производством. Естественная молекулярная технология, собирая свои частицы по принципу от «нано» к «макро», или «снизу вверх», создала все многообразие живых трехмерных систем (белки, ДНК и т.д.). Само существование живых организмов, чьи формы, функционирование и эволюция определяется взаимодействием наноразмерных структур, является убедительным свидетельством успеха этого технологического процесса. Проблема синтеза новых наноматериалов чрезвычайно сложна и требует междисциплинарного подхода к ее решению [1].

В ряде работ отмечается, что свойства наноструктур определяются размером, формой и расположением всех атомов. *Однако в настоящее время не установлены механизмы формирования таких структур и не ясно, какое число атомов может составлять точно определенную молекулярную структуру. Исследования в области синтеза и применения наноструктурных систем в значительной степени сдерживаются тем, что до сих пор неизвестны механизмы межатомного взаимодействия и объединения атомов таких структур, что не позволяет выработать стратегию получения новых функциональных характеристик.* Можно предположить, что устойчивые размеры наносистем в значительной степени зависят от электронной структуры атомов, структуры его ядра в связи с расположением их в Периодической системе (ПС) Д.И. Менделеева. Следует отметить также, что еще на заре создания квантовой механики был предложен ряд моделей структуры атома. Наиболее при-

знанной и экспериментально подтвержденной на примере водородного атома является квантовая модель, разработанная Н. Бором и развита А. Зоммерфельдом, В. Паули и др. [2]. Однако до сих пор она также подвергается критике.

Большинство химических элементов ПС – это продукт нуклеосинтеза термоядерных реакций, осуществляемых в звездах [2]. Известно, что в процессе первичного нуклеосинтеза образовались элементы до лития. Звездный нуклеосинтез легких ядер (до углерода ^{16}C) происходил в недрах немассивных звезд путем тройной гелиевой реакции. Ядра до железа ^{56}Fe синтезировались за счет слияния более легких ядер в недрах уже массивных звезд, а синтез тяжелых и сверхтяжелых ядер шел путем нейтронного захвата в предсверхновых и при взрывах сверхновых.

Формирование атомов происходило в соответствии с законом кулоновского взаимодействия, т.е. заряд ядра определял число электронов, при этом в нём достигается минимум энергии. Распределение электронов по орбиталиям подчиняется принципу Паули и правилу Хунда. Между электронами и ядром действует кулоновское взаимодействие. Кулоновская потенциальная энергия обладает сферической симметрией, что означает зависимость энергии электрона только от расстояния до ядра (не зависит от угла). На основе симметрии обнаружен спин электрона и разработан принцип запрета Паули: если два электрона заняли орбиталь, то их спины должны быть парными, т.е. спин одного электрона должен быть направлен по часовой стрелке, а спин другого – против часовой стрелки. Поэтому такое свойство электрона, как спин и принцип Паули, имеют и корни симметрии. В этой связи в периодах, например, во втором от Li и далее с ростом числа электронов их симметрия к концу периода изменяется [2].

Известно, что зависимость атомного объема от порядкового номера химических элементов в ПС имеет периодический характер, т.е. у элементов Li, Na, K и т.д. наблюдается резкий рост атомного объема. Эти атомы являются первыми элементами во втором и последующих периодах. Известно также, что число элементов в периодах (начиная со второго) растёт. Каждый период заканчивается нейтральным атомом – это Ne, Ar и т.д. Кроме того, известно, что размер атомов (атомные радиусы) в зависимости от порядкового номера изменяются аналогично атомному объёму [1]. Поэтому можно говорить, что атомы Li, Na, K и т.д. «раздуты, они обладают низким значениями потенциала ионизации, сродством к кислороду и т.д.

Другим свойством ПС является то, что в ней содержатся парные периоды с 8, 8, 18, 18, 32 и 32 элементами, т.е. количество элементов в периодах симметрично возрастает. Поэтому различают малые и большие периоды. В целом структура ПС также основана на подходах симметрии.

В квантовой механике [2] при наличии большого числа взаимодействующих подсистем – атомов или молекул – имеют дело с состояниями, в которых можно определенно указать лишь вероятность P_i обнаружения того или иного состояния подсистемы, описываемого волновой функцией Ψ_i . Это положение составляет основу квантовой механики. Поэтому оно может быть взято за основу при разработке теории структурообразования наносистем. Можно констатировать, что наноматериалы (наносистемы) – это особое квантовое состояние вещества. Достаточно указать, что нанометровые размеры структур выявили ряд новых квантовых свойств (сверхпроводимость, сверхтекучесть и т.д.). Как отмечается в ряде работ, все природные материалы и системы построены из наночастиц. Именно в этом интервале наноразмеров на молекулярном уровне Природа «программирует» основные характеристики веществ, явлений и процессов. Однако, несмотря на то, что в настоящее время достигнуты впечатляющие успехи в этом направлении (достаточно указать на открытие фуллеренов, нанотрубок и т.д.), разработка теоретических основ атомной «сборки» таких материалов в настоящее время еще только начинается. Одним из первых идею организации наноструктур на примере гена ДНК дал Шредингер. Он исключил периодические структуры, так как они содержат малый объём информации, и ввёл понятие «апе-

риодического» кристалла. Это регулярная структура, содержащая значительно больше информации. Можно предположить, что информационные свойства наноструктур будут определять и их функциональные свойства.

Другим существенным отличием квантовой нанотехнологии от классической является также и то обстоятельство, что большое развитие получила вычислительная нанотехнология [3]. Это обусловлено тем, что квантовая природа нанотехнологии требует соответственно квантово-механического способа описания свойств веществ и проходящих с ними процессов и реакций. До последнего времени для атомных систем размером более нескольких ангстрем это было в значительной степени нереальным. В настоящее же время границы области квантовой теории существенно раздвинулись, прежде всего, в области квантового (волнового) хаоса. Так что сегодня квантово-механическому рассмотрению подвластны нанообъекты с размером до нескольких нм, состоящие из нескольких тысяч атомов.

Квантово-механические расчеты при объединении атомов можно проводить на основе волнового уравнения Э. Шрёдингера [3]. В общем случае, волновая функция Ψ может иметь сложную зависимость от времени, в частности, при сближении атомов или молекул. Поэтому решение уравнения Э. Шрёдингера оказывается сложным. Следовательно, необходима разработка новых подходов к теории структурообразования наносистем и квантово-механическим вычислениям.

В связи с изложенным особый интерес представляют исследования наноматериалов, обладающих рядом специфических и функциональных свойств. В частности, особое значение приобретает получение устойчивых металлических наноструктур при атомной сборке. В литературе этому вопросу посвящено ряд работ, в которых приводятся сложные квантово-механические расчеты, например, методом функционала электронной плотности, разработанного П. Хоэнбергом, В. Коном, и Л.Д. Шемом [3].

Однако на данный момент отсутствует общепризнанная теория межатомных взаимодействий при синтезе наносистем. Кратко рассмотрим ряд подходов к решению этой проблемы [1].

Как правило, наносистемы развиваются в несколько этапов. На первом этапе, когда в системе преобладают зарождающиеся и растущие наночастицы, к ней интенсивно подводят вещества и энергию. На втором же этапе, когда в системе доминирует агрегирование и совершенствование агрегатов, подвод веществ и энергии стремятся минимизировать. Наличие в наносистемах параллельных конкурирующих процессов приводит к тому, что изменение свойств системы может приобретать колебательный (периодический) характер.

Таким образом, изменение химических и физических свойств наночастиц металлов, образуемых из атомов, свидетельствует об их определенной периодичности в зависимости от числа атомов в наночастице и способа организации. По аналогии с Периодической таблицей Д. И. Менделеева предпринимаются попытки создать электронные и геометрические таблицы кластеров и наночастиц металлов. Так, для кластеров натрия, содержащих несколько тысяч атомов, также обнаружено явление периодичности в стабильности частиц. При наличии в частице более 1500 атомов Na преобладает геометрическая упаковка в закрытые оболочки, подобные инертным газам.

В ряде работ отмечено [1], что размер частиц, содержащих десятки тысяч атомов, может по-разному влиять на их активность. В первом случае определяющее значение имеет электронная структура каждого кластера, во втором – строение геометрической оболочки частицы. В реальных частицах электронная и геометрическая структуры связаны, и рассмотрение их влияния по отдельности не всегда возможно. С проблемой установления зависимости химических свойств от размера участвующих в реакции частиц тесно связано явление закономерностей образования наномасштабных твердых фаз в процессах кристаллизации. При взаимодействии атомов в газовой, жидкой фазе или при соударении с поверхностью вначале образуются небольшие кластеры, которые могут укрупняться и превра-

щаться в нанокристаллы. В жидкой фазе такие образования сопровождаются кристаллизацией и приводят к формированию твердой фазы [4].

В нанохимии частиц металлов [4], состоящих из небольшого числа атомов, отсутствует четкая граница между фазами и недостаточно развиты представления о том, сколько атомов того или иного элемента необходимо для самопроизвольного возникновения кристаллического зародыша, инициирующего образование наноструктуры.

Получение наночастиц путем объединения атомов позволяет рассматривать единичные атомы как нижнюю границу нанохимии. Верхняя граница определяется количеством атомов в кластере, при котором дальнейшее увеличение размера частицы не ведет к качественным изменениям химических свойств, и они аналогичны свойствам, например, компактного металла. Количество атомов, определяющих верхнюю границу, индивидуально для каждого элемента ПС. Принципиально важно, что структура наночастиц одних и тех же размеров, получаемых путем диспергирования и построения из атомов, может оказаться идентичной [4].

Методы квантово-механических расчетов [3] объединения атомов по Хартри-Фоку на основе одноэлектронных волновых функций Ψ с учетом обобществленного отталкивания электрона от всех остальных электронов, как и расчеты по Слейтеру с использованием констант экранирования заряда ядер остовными электронами, не привели к строгому обоснованию реальной последовательности заполнения электронных оболочек атомов, а следовательно, и к строгому квантово-механическому выводу в ПС. Поэтому необходимы новые подходы к структурообразованию и оценке устойчивости наноструктур в зависимости от числа в них атомов.

Почти двадцатилетнее практическое применение квантово-химических средств к проблемам нанотехнологии привело к естественному отбору «работающих» средств, среди которых первое место занимают программы, основанные на полуэмпирических методах квантовой химии [4]. Среди этих методов следует выделить методы самосогласованного расчета уравнений Хартри-Фока в однодетерминантном приближении, такие как MNDO, NDDO и NDDO-WF. В последние годы разработаны эффективные алгоритмы последовательных и параллельных кодов соответствующих программ, что и обуславливает возможность портретирования реальных объектов.

Несмотря на резко возросшее количество работ по компьютерному моделированию молекулярной динамики в исследованиях, посвященных атомно-структурным перестройкам в нанобразцах при механическом деформировании, все же их имеется сравнительно мало [1].

На наш взгляд, необходим глубокий анализ, прежде всего, структуры атома и в целом ПС Д.И. Менделеева. Как следует из проведенного анализа, в основе методов расчета и оценки устойчивости наносистем оказываются свойства изолированных атомов и межатомное взаимодействие. *Поэтому следует рассмотреть, прежде всего, роль эволюционного пути развития атома как формы организации материи в связи с расположением его в ПС Д.И. Менделеева. Следует отметить, что все квантово-механические расчеты структурообразования кластеров и наносистем не учитывают роль химического взаимодействия атомов при их взаимодействии, рассматриваемых в квантовой химии и базирующихся на работах Гайтлера-Лондона. Американский химик Л. Полинг выдвинул гипотезу, согласно которой химические связи образуются при перекрывании электронных облаков разных атомов. Но и она подвергается критике, так как является статической моделью.*

Как известно [2], энергетическое состояние электронов и изолированного атома определяется набором квантовых чисел. При сближении двух атомов электронная структура каждого из них преобразуется: дискретные уровни энергии сдвигаются, расщепляются и группируются. Часть электронов, находящихся на верхнем уровне может обобществляться, при этом они двигаются по объединенному объему двух атомов. Когда число атомов увеличивается, увеличивается и число обобществленных валентных электронов. Энергетический спектр обобществленных валентных электронов определяется размером и формой кластера и

взаимным расположением в нем атомов. Когда все состояния определенного уровня энергии заполняются электронами, образуется замкнутая электронная оболочка. Кластер представляет собой наиболее компактную систему с наибольшей энергией связи.

Предположение о полной делокализации валентных электронов атомов в кластере вполне согласуется с результатами расчетов, которые показали, что межатомные расстояния, соответствующие равновесным положениям атомов в металлических кластерах, например 3,5-4 ат. ед. для Na - Na, меньше среднего радиуса наружной 3s-оболочки изолированного атома Na (r) = 4,21 ат. ед. Это означает, что 3s-электроны натриевого кластера становятся общими для всех его атомов, так как их волновые функции перекрываются в значительной области. *При этом валентные электроны атомов щелочных металлов можно считать слабосвязанными по сравнению с электронами внутренних оболочек. Так, потенциалы ионизации наружной 3s- и следующей за ней внутренней 2p-оболочек атома Na равны соответственно 5,21 и 47,29 эВ. Таким образом, валентные электроны достаточно хорошо отделены от глубоких электронов и могут быть рассмотрены отдельно от них как частицы, распространяющиеся в потенциальном (электрическом) поле, созданном ядрами и внутренними электронами [1].*

В предельном случае рассматривается так называемая оптимизированная модель «желе» [3], в которой эта функция вообще не задается, а подбирается в соответствии с плотностью электронов при условии абсолютного минимума полной энергии. Для достижения этого условия оказалось необходимым, чтобы в каждой точке кластера электронная и ионная плотности были идентичны. Интересно отметить, что при этом прямое электростатическое взаимодействие между электронами полностью компенсируется электростатическим взаимодействием с положительным зарядом. *Таким образом, в рассмотренных моделях единственной силой, которая удерживает подобный кластер в устойчивом состоянии, является обменное взаимодействие между электронами. Такая модель, описывающая как бы идеальное «желе» положительно заряженного коа, дает нижние границы в определении энергетической структуры металлических кластеров. Она определила исключительно важную роль обменного взаимодействия между обобществленными электронами в стабильности кластеров.*

Однако, как указывалось ранее, положение атома в кластере определяется не только соседними атомами, но и всеми другими атомами, принимающими участие в его образовании, т.е. создается единое квантовое состояние и согласованность между отдельными частями (атомами) кластера. Иначе говоря, единое квантовое состояние с чередующимися минимумами и максимумами волновых функций является остовом, определяющим электронную оболочку кластера. Если перекрытие волновых функций мало, то и взаимодействие электронов слабое. Сильнее всего перекрываются волновые функции валентных электронов, в результате их взаимодействие оказывается высоким. Аналогичные представления развиваются в других работах. Приближение внешних электронов к положительно заряженному атомному ядру, «своему» или «чужому», вызывает уменьшение энергии системы. Сближение электронов с соседними ядрами также понижает потенциальную энергию, как и сближение со «своим» ядром. Кинетическая энергия электронов при этом не увеличивается, так как область распространения электронов не сужается. Поэтому полная энергия системы при сближении атомов уменьшается [2]. Уменьшение энергии системы при более плотной «упаковке» атомов означает появление сил притяжения между атомами. При таком сближении атомов потенциальные ямы поверху сливаются. Если в «области слияния» имеются занятые электронные уровни, то соответствующие электроны «обобществляются» и принадлежат всему кристаллу. Так возникает химическая связь. Следовательно, для появления такой связи нужно, чтобы в атоме присутствовали «слабосвязанные» электроны.

В основе квантовой химии находятся работы Гайтлера – Лондона [3]. Они впервые дали квантово-механическую трактовку химической связи при взаимодействии атомов. Согласно их теории, понятие обмена отражает перераспределение электронной плотности, получаемое в нулевом приближении теории возмущений по межэлектронному взаимодействию

вследствие учета перестановочной симметрии волновой функции молекулы. Суммарное электронное облако при сближении атомов усредняется в пространстве между ядрами, благодаря «наложению» орбиталей, что оказывает стягивающее действие на ядра атомов и тем самым «цементирует» молекулу. Такова картина в синглетном состоянии. В «триплете» уже переплетаются орбитали с различными знаками, что ослабляет плотность электронного облака между ядрами и приводит к отталкиванию атомов. Иными словами, понятие обмена отражает такие важные для понимания природы химической связи явления, как коллективизация (обобществление) электронов и перестройку электронных оболочек взаимодействующих атомов. С образованием новых электронных конфигураций квантовые скачки и коллапс волновых функций не происходят. Важно также отметить, что для объяснения природы химической связи не пришлось вводить никаких новых типов динамических взаимодействий. Между образующими молекулу частицами действуют только известные из классической физики электростатические (кулоновские) силы притяжения и отталкивания. Новизна, привнесенная квантовой механикой, состоит в ином, по сравнению с классикой, она отличается в способе описания движения частиц (о чем мы уже писали выше) и в учете особого вида «несиловых» взаимодействий.

Однако как в квантовой модели обобществления электронов Гайтлера-Лондона, так и в рассмотренной ранее модели «желе» [3] не указывается механизм образования «слабосвязанных» электронов, а также их обобществление, либо отталкивание. Именно это обстоятельство определяет устойчивость молекулы. Действительно, электроны и молекулы не могут при нормальных условиях отдавать или получать энергию в процессах столкновений с другими молекулами. Это, в свою очередь, заставляет думать, что минимальная внутренняя энергия, которую может получить молекула, слишком велика, чтобы быть переданной в процессе столкновений при обычных температурах. Это значит, что энергия должна квантоваться [1]. Поэтому энергия, теряемая электроном при столкновениях, может иметь ряд дискретных значений, если только при этом она меньше энергии ионизации молекулы, т.е. меньше кулоновской прочности связи с ядром. Можно считать установленным экспериментальным фактом, что у любого атома (или молекулы) определенного типа существует некоторое наиболее устойчивое состояние («нормальное состояние»), в котором атом обычно находится. Если же атом поглощает энергию либо от источника света, либо от налетающего электрона, либо каким-нибудь иным образом, то в результате он переходит в «возбужденное состояние». При этом поглощенная энергия образует ряд дискретных значений, которые сгущаются вблизи некоторого определенного значения – энергии ионизации I . Поглощение любой энергии, большей I , оказывается возможным, и в результате электрон может уходить из атома [2].

За начало отсчета энергии атома в основном и возбужденном состояниях обычно принимается энергия системы, состоящей из ионизованного атома и одного удаленного из него электрона, который покоится. Тогда энергия основного состояния и энергии возбужденных состояний получаются отрицательными. Энергия ионизации равна W_0 , а энергия перехода в первое возбужденное состояние, т.е. наименьшая энергия, которую способен поглотить атом в нормальном состоянии, равна $(I_0 - I_1)$.

Таким образом, приведенные рассуждения свидетельствуют о том, что «самосборка» наносистемы может быть достигнута только при взаимодействии «возбужденных» атомов, т.е. находящихся в ридберговском состоянии, чего не учитывают существующие модели сборки наноструктур. При взаимодействии атомов, их можно «возбудить», например, воздействуя сильным магнитным или электрическим полем. В этой связи следует отметить, что в настоящее время при синтезе наноструктур широко используется метод лазерного излучения.

Ридберговские атомы при большой величине главного квантового числа качественно отличаются от тех же атомов в основном состоянии. Они имеют макроскопические размеры, макроскопическое время жизни и экстремально слабую связь электрона в атоме. Слабосвязанный электрон в ридберговском атоме находится далеко от атомного ядра по сравнению с другими электронами, принадлежащими атому. Его поведение слабо зависит от электронного

строения атомного остатка. По существу, единственным параметром, определяющим такое поведение, является электрический заряд остова, в то время как такие характеристики, как орбитальный и спиновый моменты, практически не влияют на свойства слабосвязанного электрона [2].

Таким образом, во всех ридберговских атомах с данным квантовым числом слабосвязанный электрон находится в одном и том же состоянии, которое может рассматриваться как водородоподобное, а следовательно, для его описания правомочно использовать модель водородоподобного атома. Уместно отметить, что ридберговскими состояниями обладают практически все существующие в природе атомы и молекулы, если иметь в виду их высоковозбужденную часть спектра [2]. Этот вывод, по-видимому, может быть использован при расчете межатомного взаимодействия в наноструктурах [1].

Как уже отмечалось, расчет полной энергии электронов при объединении их атомов можно проводить на основе уравнения Э.Шрёдингера. Параметр E в нем определяет дискретные значения энергии в уровнях, т.е. в потенциальной яме. Расстояние между уровнями и энергия самого нижнего уровня зависит от локализации частицы (электрона). Расстояние между уровнями зависит от массы частицы, в частности, с ее ростом уровни сближаются. В общем случае волновая функция Ψ может иметь сложную зависимость от времени, в частности, при сближении атомов или молекул. Решение волновой функции оказывается сложным. Следует также отметить, что в приведенной выше модели обобществление слабосвязанных электронов проведено на примере Na, т.е. щелочного металла с низким потенциалом ионизации. Однако известно [2], что их состояние близко к хаотическому или ридберговскому состоянию.

В настоящее время нет аргументовных объяснений, каким образом тождественные частицы (электроны) взаимно запрещают друг другу занять одно и то же квантовое состояние на орбиталях атома. Речь идёт о законе запрета Паули. Следует отметить, что закон запрета Паули является краеугольным камнем при построении оболочечной модели атома. Сказанное обуславливает необходимость разработки новой модели структуры атома. Как известно, согласно антикаллапсирующему принципу Паули, на орбитали не может быть двух электронов с одинаковым квантовым состоянием (энергией – E). Поэтому электронную структуру атома можно представить как ансамбль волн де-Бройля с различными ν частотами, величина которых будет характеризоваться E ($E = h\nu$, где h – постоянная Планка). При этом электроны и ядра атомов обладают информацией. Потому можно предположить, что между электронами и ядрами атомов постоянно происходит обмен информацией. При взаимодействии атомов также будут происходить как резонансные процессы, так и обменные, включая нелокальный обмен информацией и взаимодействие, благодаря спиновым эффектам.

Возникает также вопрос, какими должны быть формы электронных структур у молекул или кластеров? Действительно ли законы Природы запрещают те или иные формы структур? По-видимому, важным элементом в динамике атомов и в понимании механизма образования кластеров оказывается фрактальный характер развития микромира и процессы самоорганизации. Наноструктуры фрактальны.

Структуру атома с ядром и вращающимися электронами (планетарная модель Резерфорда и Бора) следует рассматривать исходя из законов сохранения энергии. Дискретное (квантовое) движение электронов – это антиколлапсирующие явление, не позволяющее электрону упасть на ядро атома, что вызвало бы его редукцию. В результате информация об эволюции атома также исчезла бы. Ядерные силы превосходят в 10 миллиардов раз электромагнитные силы между ядром и электронами. Поэтому ядро и электронные оболочки в атоме следует рассматривать как подсистемы в связи с большим различием в силах взаимодействия. Количество электронов определяется зарядом ядра. По-видимому, структурной организации атома предшествовало хаотическое состояние системы «ядро–электроны». Дуализм электрона [2], т.е. его способность быть частицей и волной одновременно, близок к

явлению турбулентности: с одной стороны, она характеризуется хаотическим движением частиц, а с другой – проявляет свойства к структурной упорядоченности (вихрям), как результат самоорганизации с образованием структур различного порядка. В этой связи электроны в атоме находятся как в хаотическом состоянии (электронное облако), так и в организованном путем вращения по «разрешенным» орбитам, формируя оболочечную структуру. При формировании единого квантового состояния атома в процессе эволюции происходил рост степени заполнения электронных оболочек, и, прежде всего, валентными электронами на основе принципа минимума энергии. Воспроизводство самоподобных валентных электронных структур химических элементов в периодах ПС обусловлено самосохранением материи, энергии и квантовым характером развития микромира.

Анализ электронного строения атомов в связи с их расположением в ПС свидетельствует о том, что оно определено фундаментальными законами Природы (законами симметрии, сохранения энергии и т.д.). Поэтому как электроны, так и ядра атомов обладают информацией, т.е. памятью.

Нами указывалось, что решающую роль в формировании электронной структуры молекул и кластеров играет коллективное (когерентное) взаимодействие валентных электронов атомов в результате перекрытия волновых функций. *Коллективные эффекты являются характерной чертой поведения синергетических систем [1]. В связи с этим кластер следует рассматривать как диссипативную структуру, которая является результатом самоорганизации при структурных переходах и должна обладать фрактальными свойствами. Одно из важнейших свойств фракталов – они обладают информационными свойствами. По определению Б. Мандельброта, фрактал – структура, состоящая из частей, подобных целому.*

Как следует из изложенного, квантовое состояние системы – это самосогласованность ее отдельных частей (ядре и электронов). Согласно принципу неопределённости Гейзенберга [2], ни одна частица вещества не может иметь конкретное положение относительно других. Например, в атоме слабые (кулоновские) силы связи электронов с ядром позволяют им занимать различные пространственные положения (иметь различные траектории по Р.Фишеру) и суперпозиции. Нуклоны в ядре, напротив, имеют сильные связи. Поэтому согласованность и точно подобранные квантовые силы поддерживают устойчивость атома, его размер, а следовательно, и фрактальную размерность. Таким образом, фракталы – отражение квантовых свойств микромира, его эволюции и самоподобия.

Квантовый характер образования кластера – это также проявление коллективных свойств атомов при их объединении, поэтому устойчивость и самоподобие кластера можно выразить количественной характеристикой – фрактальной размерностью как диссипативной структуры. Образование диссипативной структуры – это неравновесный фазовый переход. Согласно Г. Хакену [5], при этом система сохраняет память (информацию), передающуюся в процессе структурных перестроек (эволюции). Указывалось, что электроны и ядро атома хранят информацию о происшедшей эволюции, т.е. квантовое состояние атома обладает памятью (информацией). Дело в том, что, согласно квантовой теории, электрон находится в состоянии суперпозиции, т.е. обладает мультистабильностью (имеет несколько устойчивых состояний и может быть осуществлён выбор одного из них) и способностью к запоминанию. Поэтому фрактальная размерность кластера также несёт информацию о его квантовом состоянии при его формировании и является как бы его информатором при структурных перестройках атомов в наносистему.

Синергетический анализ структуры атома позволил сформулировать также гипотезу о физической сущности эволюционной волновой функции электрона, которая заключается в том, чтобы в волновом виде передавать информацию (память) об эволюции, хранящуюся в электроне в виде дискретных энергетических состояниях. Иначе говоря, память об эволюции электрона закодирована в его энергетическом потенциале, информация о котором передаётся волнами де Бройля. Некоторая часть информации может передаваться

излучением фотонов. Важно отметить, что формой хранения информации об эволюции атома может являться его фрактальная размерность и фазовое пространство квантового состояния. Следовательно, квантовое состояние наносистемы характеризует не только энергия, но и конфигурация всей системы, её информация и фрактальность фазового пространства, которое может быть охарактеризовано фрактальной размерностью.

Таким образом, на основе принципов синергетики и квантового характера взаимодействия атомов при структурных перестройках можно сформулировать информационно-резонансную модель структурообразования наносистем (молекул, кластеров и т.д.). Суть её заключается в следующем. При объединении атомов и обобществлении валентных электронов происходит перекрытие волновых функций электронов атомов, в результате они обмениваются информацией и новые структуры (молекула, кластер) увеличивают информацию квантового состояния молекулы. Далее она передаётся следующей структуре при дальнейших переходах (т. е. уже при росте кластера), которые осуществляются с уменьшением энергии в наносистеме, переходом её в новое квантовое состояние, что обеспечивает дальнейший рост информации новой структуры и её устойчивость. При этом фрактальная размерность образующихся новых структур, а следовательно, информация в них возрастает. Параметром порядка выступает электрическое поле ядер и электронов, находящихся на внутренних оболочках, оно же и является информатором, подающим сигнал (информацию) для коллективного взаимодействия (обобществления) валентных электронов. Кластер формируется совместными усилиями всех атомов в результате обмена информацией между подсистемами (атомами, молекулами). Следует, однако, отметить, что при объединении атомов с различным квантовым состоянием, а также редукции (коллапсе) их волновых функций информация может теряться, и устойчивость наносистем снижается. Таким образом, в соответствие с квантовой теорией, наноструктуры следует рассматривать как спектр связанных квантовых состояний атомов, устойчивость которых характеризуется энергетическим уровнем и формой организации (фрактальной размерностью). Поэтому «магические числа» – это устойчивые состояния наноструктур.

Разработанный механизм межатомного и межэлектронного взаимодействия, позволил разработать модель образования фрактального нанорельефа нитридных покрытий [6–8] для режущего инструмента, формируемых при высокотемпературном осаждении на поверхность режущей пластины потока атомов на основе роста структур путём сборки из одиночных «возбужденных» атомов, диффундирующих по её поверхности. Причиной появления сложной фрактальной структуры покрытий, осаждаемых ионно-плазменным или магнетронным напылением, является периодическое образование устойчивых кластеров, где фрактальная граница получается в результате бесконечной борьбы за все уменьшающиеся участки самосборки «возбужденных» атомов. Фрактал достраивает сам себя в размерах до устойчивого состояния.

В связи с изложенным можно предполагать, что функциональные свойства наносистем (сверхпроводимость, твердость, прочность и т.д.) будут, на наш взгляд, в значительной степени определяться квантовым состоянием как изолированных атомов, так и новым квантовым состоянием наносистемы в целом.

Библиографический список

1. Кабалдин, Ю.Г. Синергетика. Информационные модели самосборки наносистем и наноструктурирования материалов при внешнем механическом воздействии / Ю.Г. Кабалдин. – Комсомольск-на-Амуре, КнАГТУ, 2007. – 186 с.
2. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум. – М.: Мир, 1990. – 720 с.
3. Степанов, Н. Ф. Квантовая механика и квантовая химия / Н.Ф. Степанов. – М.: Мир, 2001. – 519 с.
4. Сумм, Б.Д. Коллоидно-химические аспекты нанохимии – от Фарадея до Пригожина / Б.Д. Сумм, Н.И. Иванова // Вестник Московского университета. Сер. 2. Химия. 2001. Т. 42. № 5. С. 300–305.

5. **Хакен, Г.** Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным явлениям / Г. Хакен. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
6. **Кабалдин, Ю.Г.** Структура, прочность и износостойкость композиционных материалов / Ю.Г. Кабалдин. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 183 с.
7. Повышение работоспособности режущего инструмента осаждением наноструктурных покрытий / Ю.Г. Кабалдин [и др.] // Вестник машиностроения. 2010. №3. С. 41–48.
8. **Кабалдин, Ю.Г.** Оптимизация составов и функциональных свойств наноструктурных покрытий для режущего инструмента методом функционала электронной плотности / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Серый // Вестник машиностроения. 2011. № 5. С. 32–36.

*Дата поступления
в редакцию 25.06.2013*

Yu. G.Kabaldin

INFORMATION MODEL BUILD NANOSTRUCTURES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Objective: To develop a model of the atomic assembly of nanostructured states of tool materials, using the principles of quantum mechanics.

Methods: The principles of the assembly of nanostructures based on information model of the electron-electron exchange interaction between atoms. The information content of atoms and nanoclusters characterize their fractal dimension. Computer model of the atomic assembly is implemented by the example of deposition of nanostructured coatings for cutting tools.

Key words: atomic model, atomic assembly, nanostructures, cutting tool.

УДК 658.527.011

А. А. Иванов

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Приведены примеры использования промышленных роботов в производстве заготовок методом литья под давлением, для разделения сортового проката и в РТК холодной листовой штамповки.

Ключевые слова: промышленный робот, производство заготовок, литье под давлением, сортовой прокат, холодная штамповка.

В производстве заготовок методом литья под давлением применяются робототехнические комплексы (РТК), в состав которых входят: машина литья под давлением 1 (МЛД), электропечь с расплавом, ванна для охлаждения отливок, разгрузочный промышленный робот 5, обрубной пресс 4, отводящий транспортер 3 и система управления (рис. 1).

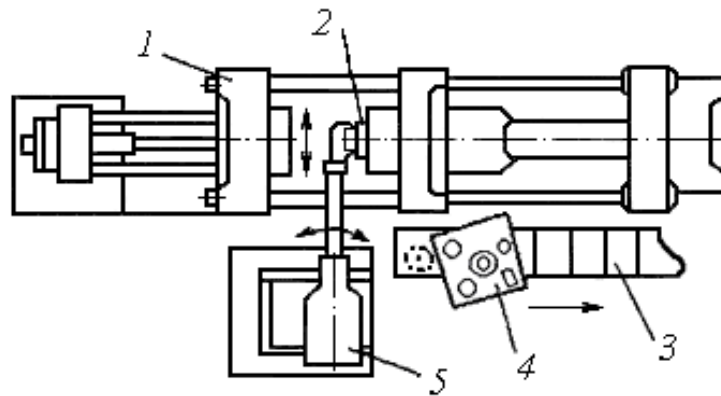


Рис. 1. Схема РТК для производства заготовок методом литья под давлением:
1 – МЛД; 2 – литьевая камера; 3 – отводящий транспортер; 4 – обрубной пресс; 5 – ПР

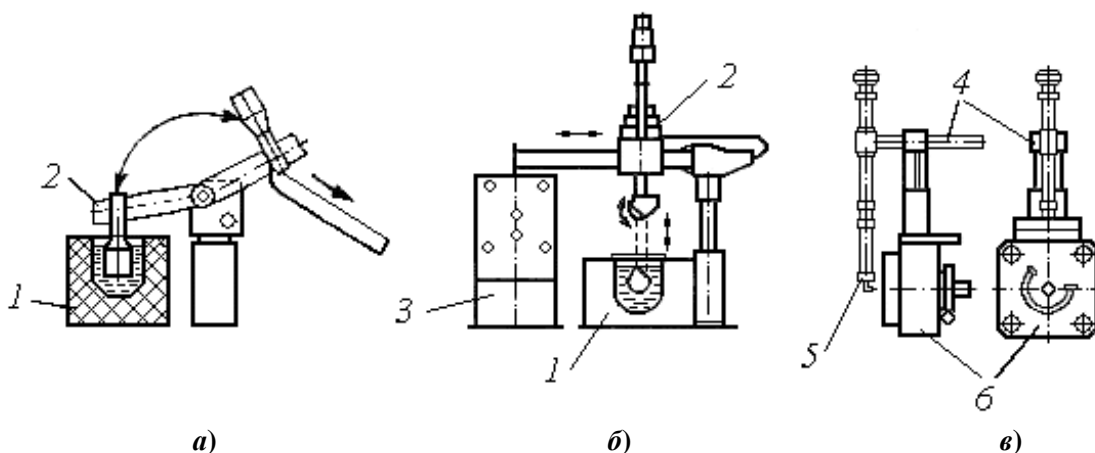


Рис. 2. Схемы дозатора-опрокидывателя (а), дозатора портального типа (б) и манипулятора для смазки литьевой формы (в):
1 – печь с расплавом; 2 – манипулятор-дозатор; 3 – МЛД; 4 – смазочный манипулятор; 5 – форсунка; 6 – литьевая форма

В представленной схеме РТК используется напольный промышленный робот (ПР), который выгружает отливки после раскрытия литейной камеры 2 и переносит их в ванну для охлаждения отливок (на рис. 1 не показана), затем под обрубной пресс 4. После обрубки летников отлитые заготовки попадают на отводящий транспортер 3, а летники по наклонному лотку-склизу сбрасываются в тару. Двухпозиционное ЗУ робота 5, кроме клещевого захвата, содержит форсунку для смазывания литейной формы.

Любая литейная машина снабжена манипулятором-дозатором 2, который в цикле загружает необходимую дозу расплава из печи 1 в МЛД 3 (рис. 2, а, б). В некоторых компоновочных схемах РТК для функции смазки применяют специальный манипулятор 4 (рис. 2, в). Варианты компоновок РТК с подвесным и напольным ПР представлены на рис. 3.

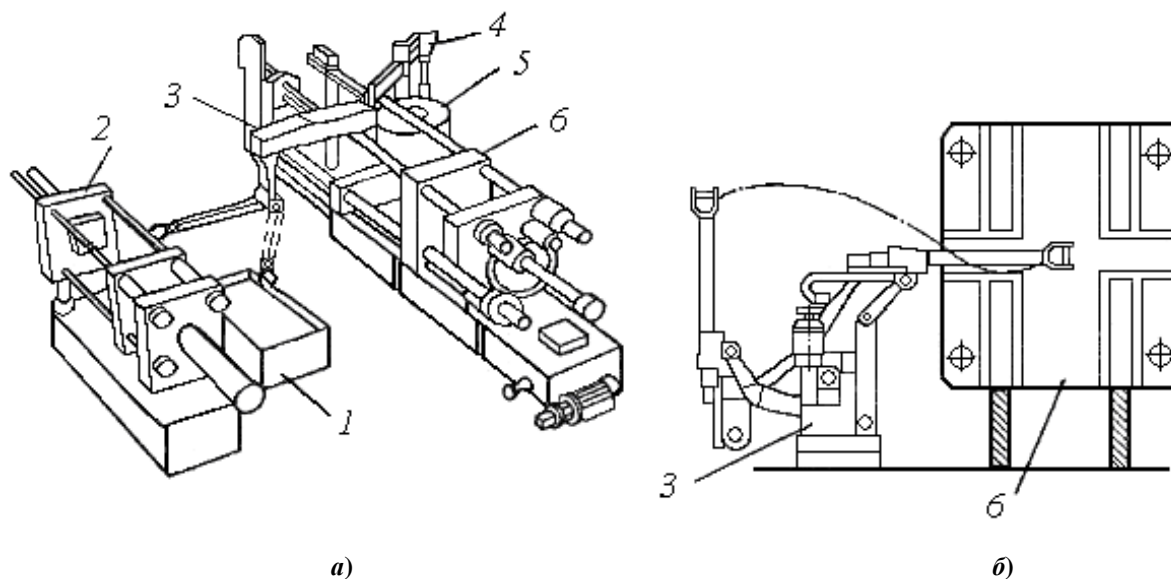


Рис. 3. Варианты РТК для производства заготовок методом литья под давлением с подвесным (а) и напольным (б) ПР:

1 – ванна для охлаждения отливок; 2 – горизонтальный обрубной пресс; 3 – разгрузочный ПР; 4 – дозатор; 5 – печь с расплавом; 6 – МЛД

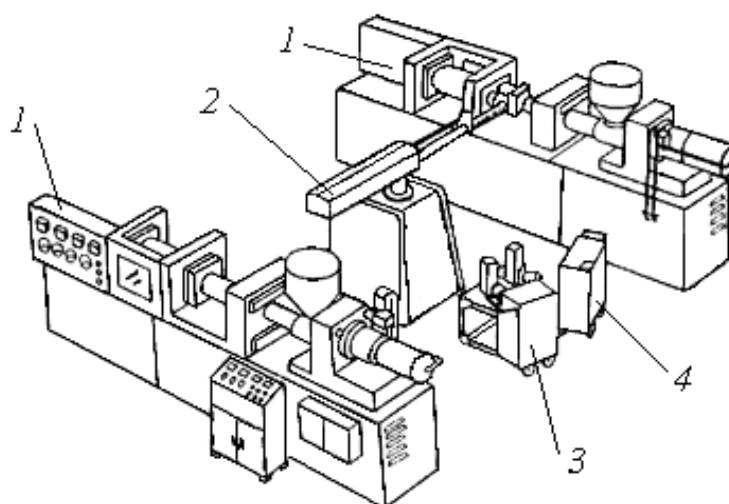


Рис. 4. Схема РТК из двух пресслитевых машин для производства деталей из пластмасс:

1 – пресслитевая машина; 2 – ПР; 3 – устройство снятия облоя; 4 – накопитель

Разновидностью производства заготовок методом литья под давлением является пресс-литейное производство деталей из пластмасс. Обычно РТК для такого производства

включает две пресс-литьевые машины 1, обслуживающий их робот 2, устройство снятия облоя и заусенцев 3 и накопитель 4 готовых изделий (рис. 4). В бункер пресс-литьевой машины (термопластавтомата) загружают гранулы исходного материала (например, поликарбоната или ударпрочного полистирола), которые при нагреве расплавляются, после чего доза расплава подается в литьевую форму, в которой происходит прессование деталей. Функции робота по обслуживанию здесь те же, что и в РТК на рис. 3.

Автоматизация кузнечно-прессового оборудования с помощью ПР осуществляется созданием РТК для разделения исходных материалов, листовой штамповки, холодной и горячей объемной штамповки,ковки, прессования изделий из пластмасс и порошков.

Вариант компоновки РТК для разделения шестиметровых прутков включает: накопитель каскадного типа 2, элеваторное загрузочное устройство 3, порталный робот 1 для подачи прутков из накопителя в загрузочное устройство, однорядный гравитационный накопитель 5, роликовый транспортер 4 для шаговой подачи прутка, разделительный пресс 6, транспортер штучных заготовок 7, два робота-укладчика штучных заготовок 8 в тару 9 (рис. 5).

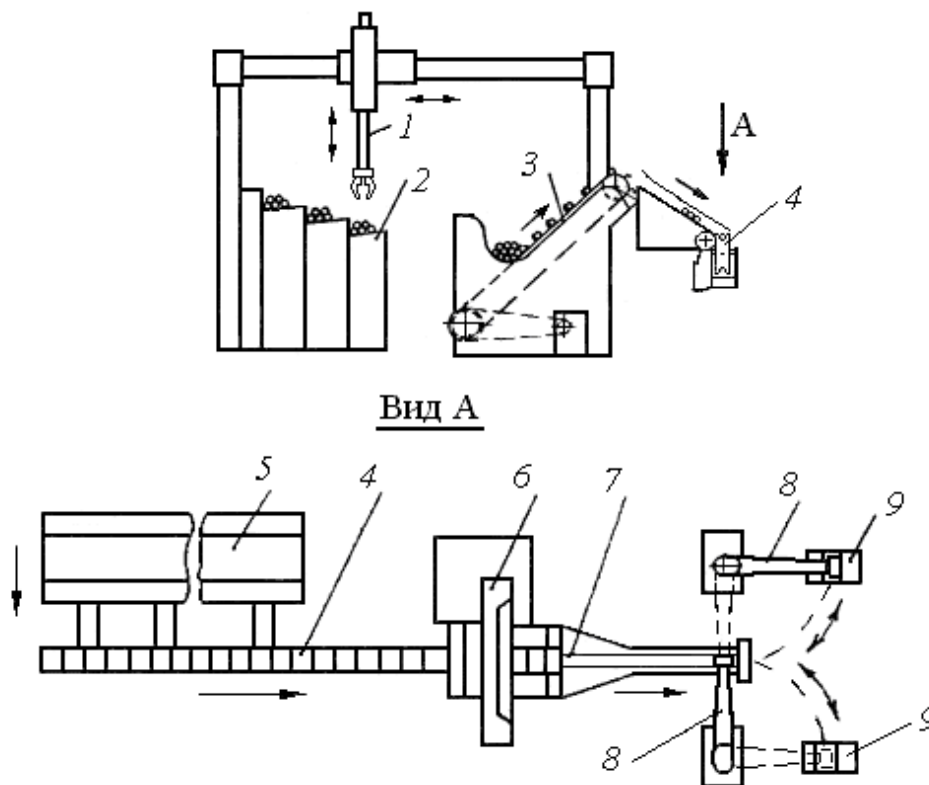


Рис. 5. Схема РТК для разделения сортового проката (прутков) на мерные заготовки:
 1 – ПР; 2 – накопитель; 3 – элеваторное загрузочное устройство; 4 – транспортер прутков;
 5 – гравитационный накопитель; 6 – разделительный пресс; 7 – транспортер штучных заготовок;
 8 – робот-укладчик; 9 – тара

Конструкция робота для длинномерных прутков должна иметь двухзахватное устройство: одна рука со сдвоенным клещевым захватом или две синхронно работающие руки с клещевыми захватами. Расстояние между захватами должно быть 1,5–2 м (рис. 6). Кроме того, захватные устройства обоих роботов должны быть универсальными с учетом разделения в РТК прутков различного профиля (круглых, квадратных, шестигранных и т. п.).

Наличие в РТК двух роботов-укладчиков вызвано высокой производительностью разделительного пресса. В подобных РТК обязательно предусматривается специальное устройство для автоматического удаления немерного остатка исходного прутка.

Роботы, обслуживающие прессовое оборудование, обычно имеют несколько рук, что позволяет повысить производительность штамповочных РТК. Например, робот 4, обслуживающий в составе РТК два консольных (одностоечных) пресса 1, имеет три руки, захваты которых одновременно взаимодействуют с заготовками в матрицах прессов и в магазине заготовок 2 (или в магазине деталей 3) (рис. 7, а).

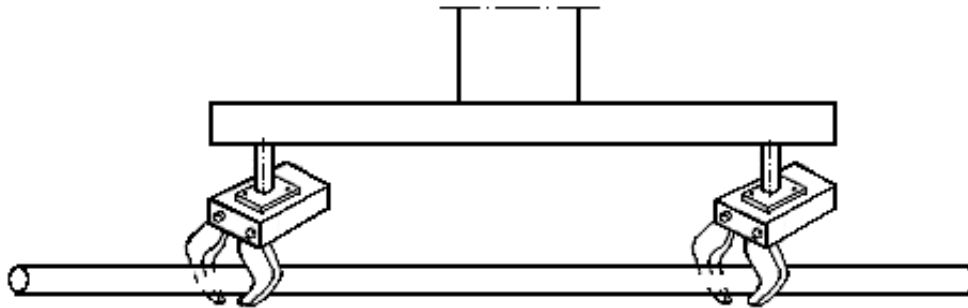


Рис. 6. Схема сдвоенного клещевого захвата для длинномерных прутков

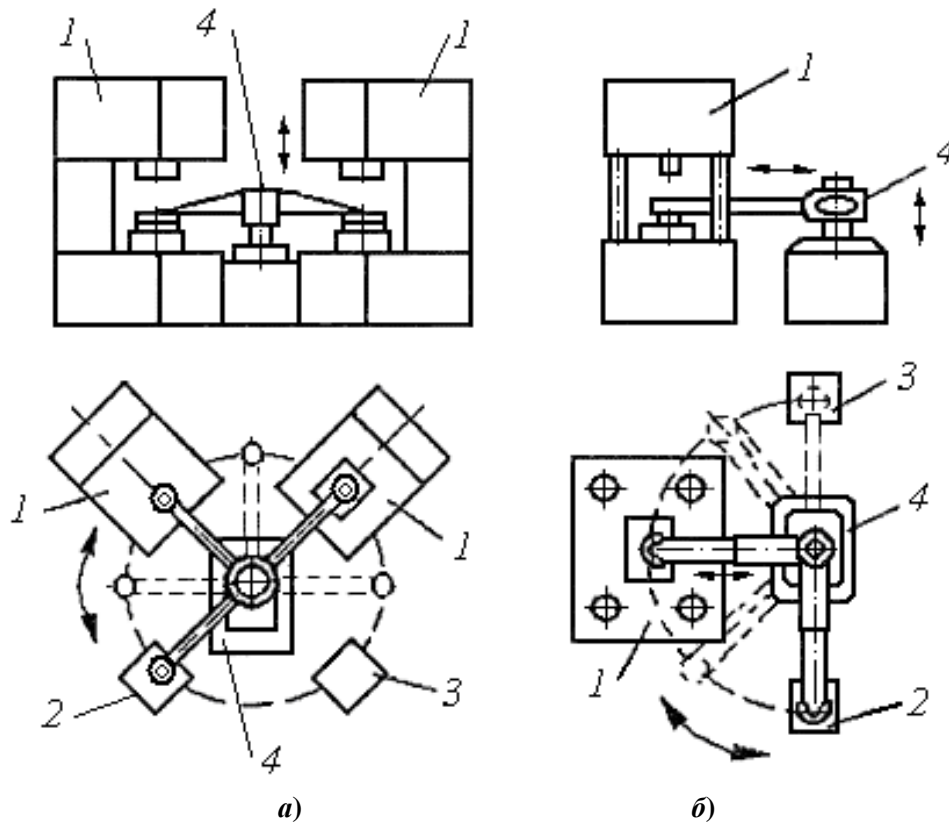


Рис. 7. Схемы РТК для холодной листовой штамповки:
 а – с двумя консольными прессами и трехруким ПР;
 б – с одним двухстоечным прессом и двухруким ПР

Поскольку консольный пресс позволяет вносить заготовку в рабочую зону поворотом руки, последняя имеет постоянный вылет, что упрощает конструкцию робота. Промежуточное положение рук ПР под углом 45° (рис. 7, а, штриховой контур) соответствует по циклограмме рабочему ходу пуансона пресса.

Робот, обслуживающий один двухстоечный пресс, имеет две руки с радиальным ходом захватов, поскольку конструкция прессы не позволяет вносить заготовку в рабочую зону простым поворотом руки (рис. 7, б).

При обслуживании трех прессов используется четырехрукий робот с одной откидной рукой (с целью входа в зону РТК наладчика) и одной втяжной рукой (с целью обработки заготовок в двухпозиционных штампах). Радиальный ход захвата на руке позволяет переключать заготовку с наружного технологического круга на внутренний.

Внешний вид двух РТК холодной штамповки с обслуживающим роботом показан на рис. 8. РТК с одним прессом предназначен для вырубki отверстий в круглом стальном листе (рис. 8, а). Обслуживающий робот 2 снабжен двумя вакуумными захватами (на рис. 8, а они не показаны). Одним захватом ПР берет заготовку из магазина 4, а другим – готовую деталь из матрицы прессы 3 и укладывает их соответственно в матрицу и магазин 1. Представленный в данном РТК робот является альтернативой двухрукому ПР.

Робототехнический комплекс с двумя прессами выполняет штамповку деталей из листовой стали (рис. 8, б). Длинные стальные листы, уложенные в штабель 5, подаются по одному загрузочным устройством 6 под левый захват робота 2, который устанавливает лист на первый штамп 3. После рабочего хода прессы ПР переносит полуфабрикат на второй пресс и одновременно правым захватом укладывает готовую деталь на отводящий конвейер 7. Далее цикл повторяется.

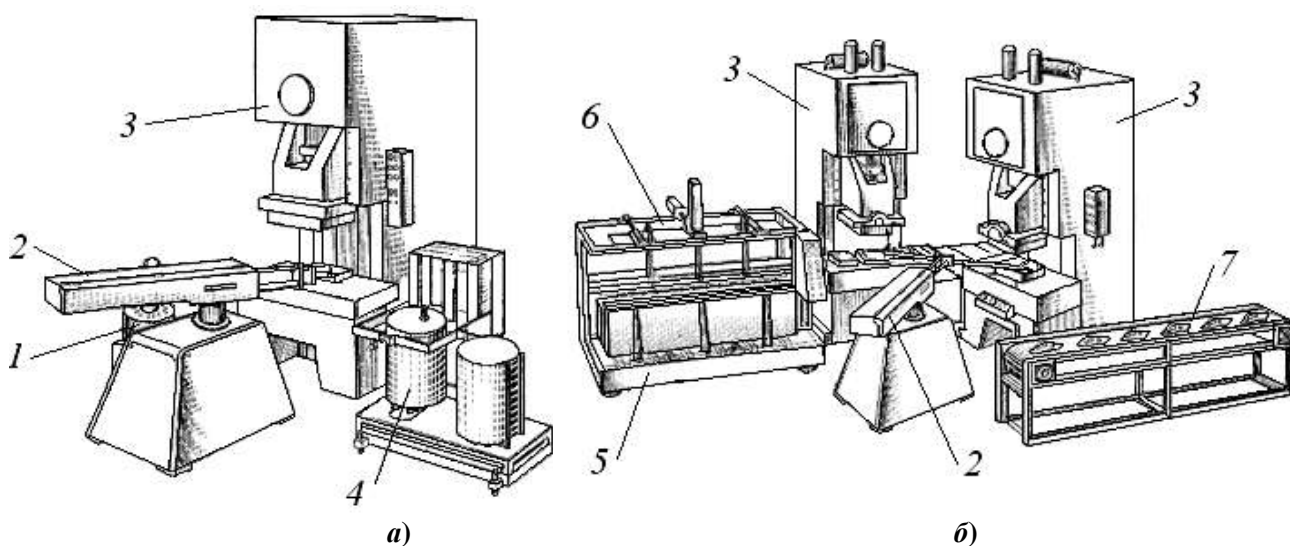


Рис. 8. Внешний вид РТК холодной штамповки:

а – с одним прессом; б – с двумя прессами; 1 – магазин; 2 – ПР; 3 – пресс; 4 – магазин;
5 – штабель; 6 – загрузочное устройство; 7 – отводящий конвейер

Вывод

Приведенные примеры показывают техническую и экономическую целесообразность использования промышленных роботов в заготовительном производстве, структура которого определяется организационной формой технологического процесса: литьё под давлением, разделение сортового проката, холодная листовая штамповка.

Библиографический список

1. **Иванов, А.А.** Основы робототехники: учеб. пособие / А.А. Иванов. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.

2. **Козырев, Ю.Г.** Промышленные роботы / Ю.Г. Козырев. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
3. **Попов, Е.П.** Основы робототехники. Введение в специальность / Е.П. Попов, Г.В. Письменный. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.

*Дата поступления
в редакцию 25.06.2013*

A.A. Ivanov

EMPLOYMENT OF INDUSTRIAL ROBOTS FOR BLANKING PRODUCTION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: To show technical and economic expediency of the employment of industrial robots for blanking production. Moreover, the investigation is accompanied on the basis of comparative analysis of RTC layouts. Consequently, the structure of this production is determined by the organizational form of the technological process and some machining object characteristics.

Methodology: A theoretical framework is proposed to describe the method of the system analysis for selecting some constructive variant of industrial robots (floor mounted or overhead, single-arm or double-armed) and other means of automation including RTC.

Findings: It is possible, for example, to apply some optimum variants of KEC layouts for blanking production. As a result the die casting method as well as the method of dividing the rolling process of some definite sort and cold sheet stamping process employing multiarm robots with twin grippers.

Research limitations: The present study showed results of the system analysis. Moreover, technical and economic expediency of employment of multiarm industrial robots with twin grippers. Consequently, they can serve up to 3 units of technical equipment and provide its program structural remounting.

Key words: industrial robot, blanking production, die casting, long products, cold sheet stamping.

УДК 658.5.011 (005)

А.В. Запорожцев

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: определение принципов проектирования организационно-технических систем, обеспечивающих повышение качества разработки проекта.

Методология: разработка принципов проектирования основана на детальном анализе процесса проектирования с точки зрения системного подхода, методов структурного анализа и проектирования (SADT), использовании принципов и инструментов теории ограничения систем (ТОС) и процессного подхода в управлении.

Подход: повышение уровня системности процесса проектирования, заключающегося в принятии решений на основе структурирования всех данных, используемых при проектировании; анализа проблем на основе выявления причинно – следственных связей; логического анализа получаемых результатов.

Результаты и область применения: разработаны базовые принципы проектирования организационно – технических систем, охватывающих все этапы разработки проекта от анализа задания на проектирование до разработки технологической модели реализации функций системы. Данные принципы могут быть использованы в практике проектирования любых организационно – технических систем.

Выводы: реальное повышение качества проектирования может быть достигнуто только на основе осознанного применения системных методологий.

Ключевые слова: организационно-техническая система, системный подход, модель системы, структурный анализ и проектирование, теория ограничения систем.

Введение

Если необходимость использования принципов системного подхода в проектной деятельности не вызывает сомнений, то почему затраченные усилия при проектировании часто не дают ожидаемого результата?

Под **организационно-технической системой (ОТС)** понимается человеко-машинная система, в которой организационная подсистема (персонал) и техническая подсистема (оборудование, инженерные сети и т.п.) взаимодействуют для достижения поставленных целей. Ввиду сложности таких систем их проектирование должно основываться на системных принципах.

Базовыми принципами системного подхода являются:

- принцип цели – деятельность должна быть целенаправленной, устремленной на удовлетворение реальных потребностей;
- взаимосвязанность системы с внешними системами – система зависит от своего окружения и воздействует на него;
- взаимосвязанность отдельных элементов системы между собой – все части системы воздействуют друг на друга.
- целостность системы – наличие особых свойств системы, позволяющих взаимодействовать системе с окружающим миром как единый (целостный) объект.

Особое значение среди них имеет принцип цели, так как он определяет движущую силу развития системы – разрыв между поставленной целью и достигнутым результатом. Этот разрыв свидетельствует о наличии в деятельности организационно-технической системы проблем, на устранение которых направлена деятельность по ее совершенствованию. Для решения этих проблем руководство организации инициирует проект – задачу, в рамках кото-

рой будет создана система, обеспечивающая повышение эффективности деятельности организации.

Рассмотрим основные аспекты ситуации формулировки цели проекта. При анализе будем рассматривать следующий круг «заинтересованных» лиц:

- заказчик проекта – лицо, принимающее решение в отношении формулировки задания и подтверждающее, что проект выполнен в соответствии с заданием;
- спонсор проекта — представитель организации, который выступает в качестве связующего звена между заказчиком проекта и проектной группой;
- аналитик – специалист в области применения принципов системного анализа в практической деятельности;
- проектировщик – проектная группа, разрабатывающая проект;
- пользователи – персонал, который будет использовать систему в своей работе.

Заказчик проекта и пользователи являются представителями организации, инициировавший проект, а аналитик и проектировщик входят в проектную группу и являются исполнителями проекта. Роль аналитика в проектной группе заключается в профессиональном применении методов системного анализа и проектирования на всех этапах выполнения проекта. Роль пользователя заключается в формировании требований к проектируемой системе, обеспечивающих соблюдение всех технологических аспектов и удобство использования системы.

1. Начальный этап проектирования

Исходным моментом проектирования является принятие решения заказчика о начале работ по созданию системы и формирование проектной группы. Чтобы найти правильное проектное решение, прежде всего, необходимо оценить поставленную задачу с точки зрения ее соответствия реальным проблемам организации. Проектировщик должен выявить побудительные причины, которые легли в основу принятия этого решения. В системном анализе есть принцип, согласно которому формулировка задания заказчиком отражает только его точку зрения и не может быть принята к исполнению без анализа и уточнения со стороны проектировщика [1]. Такой анализ должен быть основан на учете всех внешних и внутренних факторов, влияющих на систему в контексте поставленной задачи. Эффективно эту задачу может выполнить только аналитик, так как обладает соответствующими профессиональными навыками. В том случае, когда функции аналитика берет на себя проектировщик, увеличивается риск принятия неэффективных проектных решений, так как проектировщик, в большинстве случаев, относится к этапу анализа как к обязательной, но не самой главной части проекта.

Цель первого этапа анализа задачи проекта – определение существенных факторов, которые могут повлиять на проектное решение. Для этого аналитику необходимо декомпозировать задачу на составные части (подзадачи) и для каждой части определить сферу деятельности организации, которые связаны с составными частями (подзадачами). Для каждой сферы деятельности требуется выявить факторы внешней и внутренней среды функционирования системы, которые существенно влияют на результат деятельности в этой сфере. Работу по декомпозиции задачи аналитик должен выполнять в тесном взаимодействии со спонсором проекта, так как только ответственный представитель организации может подтвердить справедливость логических построений, которые будет формулировать аналитик.

На втором этапе аналитического исследования необходимо выявить проблемы организации, связанные с задачей. Декомпозиции задачи на подзадачи, сферы деятельности и факторы влияния образуют контекст, в рамках которого идентифицируются проблемы организации. Возможность такой идентификации основана на целевом характере постановки задачи – если задача поставлена (есть определенная цель), то она должна решать реальные

проблемы предприятия. Идентификация проблем производится на основе восстановления логической связи между задачей и проблемой. Наиболее эффективной методологией, обеспечивающей выявления истинных проблем организации, является теория ограничения систем (ТОС) [2], в рамках которой разработаны инструменты для проведения анализа. Если между задачей и проблемой действительно существует взаимосвязь, то, используя инструменты ТОС, аналитик сможет сформулировать список проблем, существующих реально в деятельности организации.

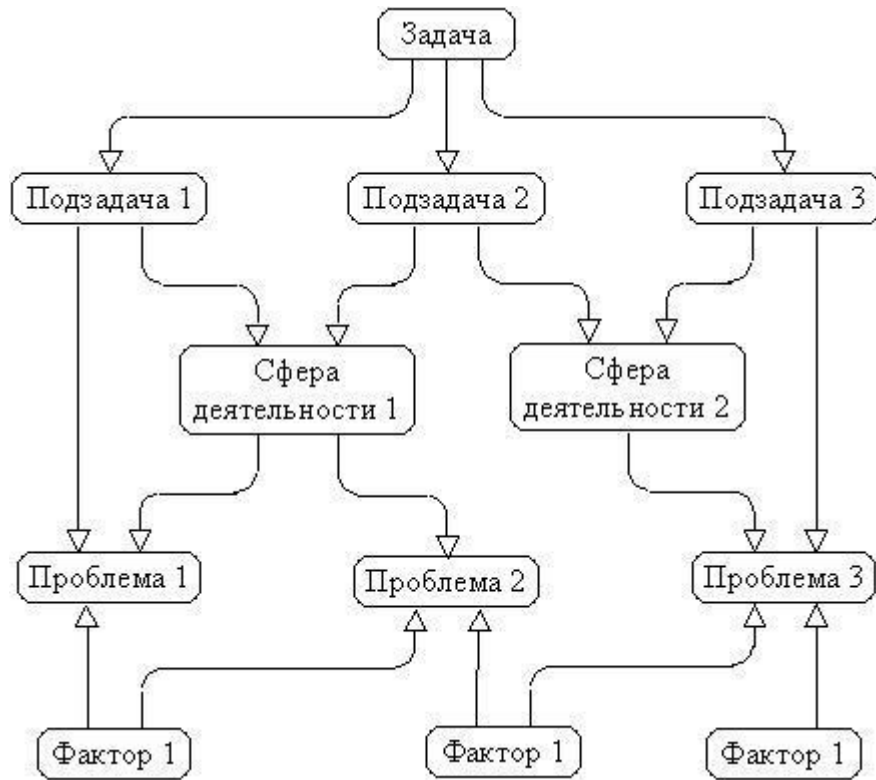


Рис. 1. Декомпозиция задачи проекта на этапе аналитического анализа

Для каждой проблемы из этого списка необходимо проверить исходные предположения, лежащие в основе связи между задачей и проблемой [2]. Исходные предположения формулируются по следующей логической схеме: «Чтобы устранить (проблему), необходимо решить (задачу), потому что: (исходные предположения)». В формулировке исходных предположений следует использовать те сферы деятельности и факторы, которые связаны с задачей в декомпозиции. В результате анализа исходных предположений необходимо или подтвердить, что такая взаимосвязь действительно существует в реальности или подвергнуть сомнению истинность этой связи. Если для части задач не удастся определить проблему, то данные задачи выделяют в отдельный список для последующего анализа. В том случае, когда некоторые проблемы, выявленные аналитиком, не удастся связать с задачами проекта, следует попытаться сформулировать дополнительные задачи проекта. Они должны войти в список задач проекта. Результатом аналитического этапа выполнения проекта заказчику будет представлен уточненный вариант задания на разработку системы будут обоснованием всех ключевых моментов и, прежде всего, цели (задачи) проекта. Принятие уточненного варианта задания на проектирование повышает качество проекта за счет его аналитического обоснования.

Таким образом, первым принципом проектирования организационно-технических систем является *детальный анализ задания на проектирование*.

2. Моделирование предметной области

Следующий шаг в разработке любой системы – описание предметной области, для которой создается система. Для создания наглядного образа организационно – технической системы целесообразно работу по описанию предметной области начать с основных объектов системы, на которые направлена деятельность организации в данной предметной области. Обычно объекты системы представляют собой упорядоченную структуру. Основным вопросом, на который должны ответить разработчики, это тип структуры объектов предметной области. Можно выделить следующие типовые структуры для объектов:

- списочная (парковая) структура однородных объектов, между которыми отсутствует взаимодействие;
- сетевая структура взаимосвязанных объектов. Для такого типа структуры требуется описание не только самих объектов, но и элементов инфраструктуры, через которую происходит взаимодействие объектов;
- структура распределенных объектов. Данный тип структуры является разновидностью сетевой структуры, в которой сама инфраструктура является основным объектом предметной области, так как объекты распределены по сети. В данной структуре используются простые объекты, т.е. не требующие декомпозиции своей внутренней структуры. Примером структуры распределенных объектов является железнодорожный путь, формируемый верхним строением пути, состоящим из рельсов, шпал, креплений и балласта.

На этапе разработки модели объектов предметной области необходимо произвести декомпозицию внутренней структуры объектов, причем степень детализации внутренней структуры будет определяться задачами проекта разработки системы.

Важным элементом общего образа предметной области является модель организационной структуры, в рамках которой происходит деятельность. Основные особенности организации деятельности должны быть выявлены до начала основных работ по проекту.

Таким образом, вторым принципом проектирования организационно-технических систем является **создание общего образа предметной области**.

Разработка модели функций системы – ключевой момент в проекте. Одной из самых эффективных методологий разработки моделей функций системы выступает методология структурного анализа и проектирования (SADT) [3]. Базовые элементы модели функций системы: цель моделирования, точка зрения и система – модель взаимодействия системы с окружающим миром (границы системы).

Определяющим моментом работы по описанию функционирования системы является точность формулировки цели моделирования. Очевидно, что при определении цели моделирование необходимо учитывать цели проекта, однако между этими целями нет прямой взаимосвязи, так как они относятся к различным сферам деятельности: цели проекта относятся к деятельности организации, а цели моделирования – к технологии разработки модели деятельности.

В большинстве случаев заказчик формулирует задание как разработку и внедрение предложений по повышению эффективности работы организации в определенной сфере деятельности. Средством реализации этих предложений является проектируемая система. Предложения по повышению эффективности деятельности могут касаться различных аспектов: организационных, технологических и т.д. Если эти предложения касаются организации деятельности, то разработчики системы должны цель разработки модели системы формулировать с учетом того, что модель должна отвечать на вопросы о функционировании системы в тех сферах деятельности, с которыми связаны предложения по повышению эффективности деятельности. Кроме того, разработчики должны предложить изменения функций существующей системы, определить ее новые функции и «встроить» их в модель существующей системы. Таким образом, в цели разработки модели должны быть основаны на предложениях по повышению эффективности работы организации.

Таким образом, третьим принципом проектирования организационно – технических систем является **формулировка цели разработки модели системы на основе предложений по повышению эффективности организации**

Рассмотрим проблемы определения границ системы, которые напрямую связаны со сферой деятельности, рассматриваемой в проекте. В явном виде границы предметной области в задании на проектирование не указываются, они подразумеваются из контекста содержания задания. При формировании решаемой задачи аналитик должен определить границы системы в явном виде. Методология структурного анализа и проектирования рекомендует начинать разработку функциональной модели системы с составления списка объектов и списка функций. При анализе списка функций необходимо определить «внешние» функции по отношению к системе и «внутренние». Разделение функций производится по результатам ответа на вопрос: «Входит ли данная функция непосредственно в сферу деятельности, рассматриваемую в проекте?». Если ответ на это вопрос положительный, то данная функция должна быть включена в список «внутренних» функций. «Внешние функции» относятся к деятельности внешних подсистем, взаимодействие с которыми существенно для описания предметной области.



Рис. 2. Разделение функций на «внешние» и «внутренние»

Взаимодействие с внешними подсистемами отображается в виде связей, которые отображаются на контекстной диаграмме функциональной модели. «Внутренние» функции составляют основу для формирования базовых функций системы, которые отображаются на диаграмме основных функций системы.

Декомпозиция основной функции системы осуществляется в соответствии с рекомендациями методологии системного анализа и проектирования (SADT). Описание существующих функций системы дается в виде модели «как есть». Разработка этой модели ведется на основе утвержденных нормативных документов о порядке деятельности в данной предметной области с учетом информации, получаемой от специалистов предметной области (экспертов) о реальных приемах их работы. Границы описания деятельности определяются сферой предметной области, рассматриваемой в проекте, а степень детальности – поставленными задачами проекта.

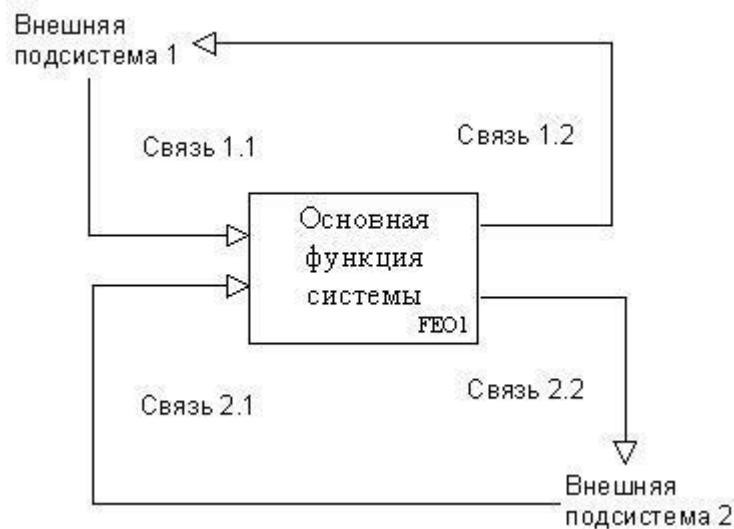


Рис. 3. Формирование внешних связей системы на контекстной диаграмме модели

Практика показывает, что разработка модели функций системы только в виде диаграмм не всегда обеспечивает получение точного и полного описания системы, так как провоцирует на «формальное» моделирование. Методология SADT рекомендует для повышения качества разработки моделей использовать авторское рецензирование, которое проводится в виде ответов на вопросы [3]. Повышение качества разработки SADT моделей может быть повышено за счет использования текстового описания модели, как метод логического моделирования. Хотя SADT модель структурирует естественный язык, однако логичность утверждения, которая скрыта в функциональной модели, может быть проверена только после превращения в соответствующее текстовое описание. В этом случае логика функционального моделирования проверяется логикой высказывания в виде текста, и большинство логических ошибок функционального моделирования удастся выявить на этапе описания диаграммы.

На основании этого можно сформулировать четвертый принцип проектирования организационно-технических систем: *сочетание логического и функционального подхода в разработке моделей систем.*

3. Модель будущего состояния системы

Следующим шагом в разработке функциональной модели является определение новых функций системы, которые обеспечивают решение задачи проекта. Новые функции системы должны определяться из целей проекта, принятых на первом этапе. Очевидно, что одна и та же цель может быть достигнута различными способами. Разработчики новой системы должны определить эти способы и выбрать из них тот, который обеспечит достижение поставленных целей наиболее эффективным способом. Список новых функций системы послужит основанием для изменения модели системы, таким образом, чтобы обеспечить функционирование действующей системы в соответствии с задачами проекта. Такая измененная модель системы (модель «как должно быть») разрабатывается в следующей последовательности:

- определяется взаимодействие новых функций с функциями модели «как есть»;
- переход от модели «как есть» к модели «как должно быть» за счет введения новых функций;
- корректировка функций модели, перешедших из модели «как есть».

Рассмотрим последовательность разработки модели «как должно быть» на иллюстративном примере. Пусть в организации используется цикл управления (PDC): планировать – выполнить – контролировать. Заказчиком сформулирована следующая задача – повысить эффек-

тивность системы управления организацией. Аналитик проекта разработал предложение – внедрить процессный подход в управлении [4]. Модель «как есть» представлена на рис. 4.

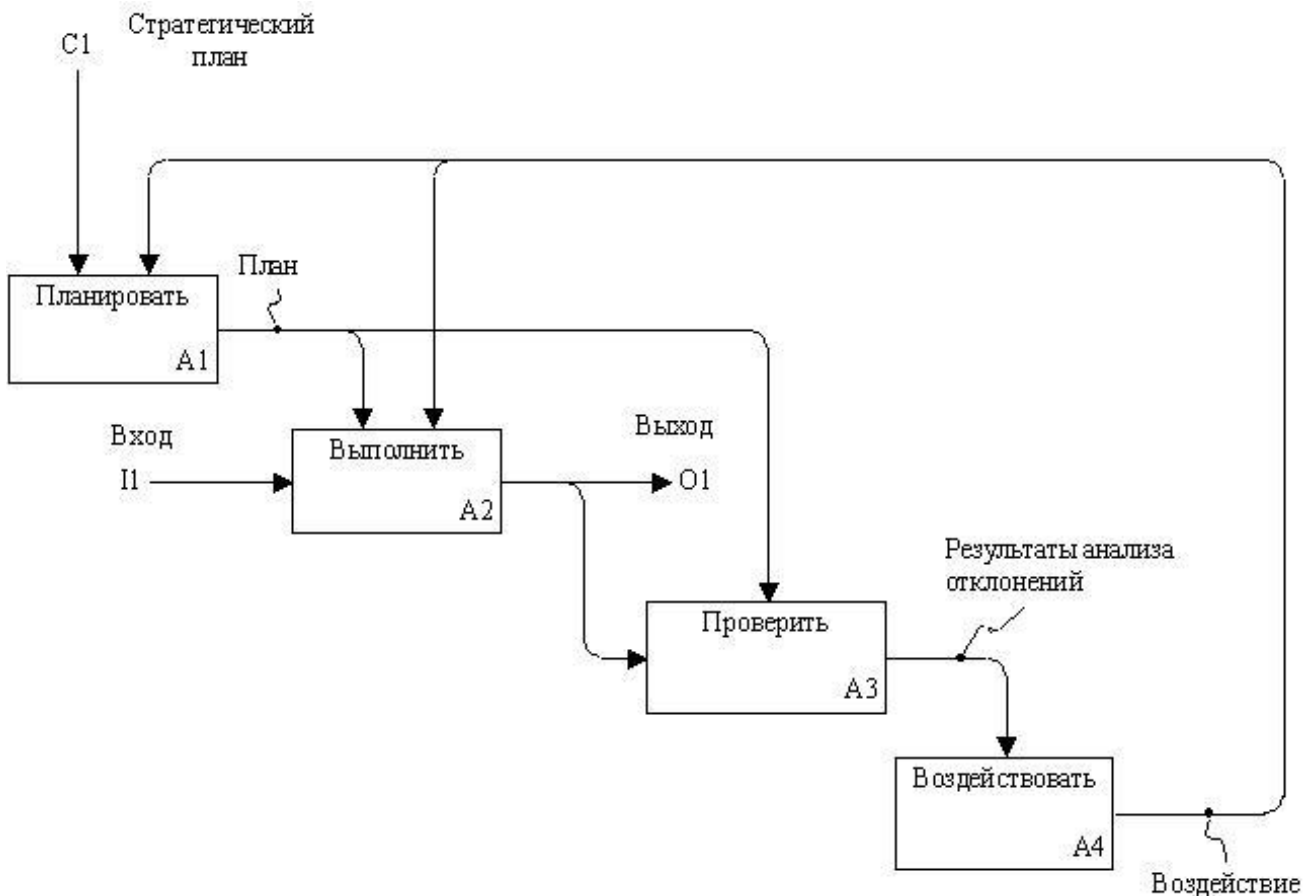


Рис. 4. Модель системы «как есть»

Функция **Планировать (A1)** выполняется на основе *Стратегического плана* и *Отчета о выполнении плана*. В функции **Выполнить (A2)** *Вход* преобразуется в *Выход*. В функции **Контролировать (A3)** проводится сравнение *Плана* и *Выхода* и на основе этого сравнения формируется *Отчет о выполнении плана*. Данный цикл управления используется в тех случаях, когда основное внимание в деятельности сосредоточено на достижении количественных показателей, заложенных в плане.

Внедрение процессного подхода изменяет систему управления организацией в результате использования в управлении цикла Деминга PDCA (планировать, выполнить, проверить, воздействовать). Такой цикл управления ориентирован на повышение показателей качества деятельности. Анализ сути предложения позволяет сформулировать следующие изменения, которые требуется произвести в модели деятельности:

- необходимо планировать не только количественные, но и качественные показатели деятельности;
- при выполнении работ следует ориентироваться не только количественные показатели, но соблюдать правила, обеспечивающие требования качества;
- функция контроля преобразуется в две функции – проверить и воздействовать. Это связано с изменением стиля управления – переходом от непосредственной реакции на отклонение к разработке воздействия на процесс на основе анализ отклонений плановых показателей, как по количественным, так и качественным признакам.

В результате использования цикла PDCA функциональная модель «как должно быть» будет иметь вид, представленный на рис. 5.

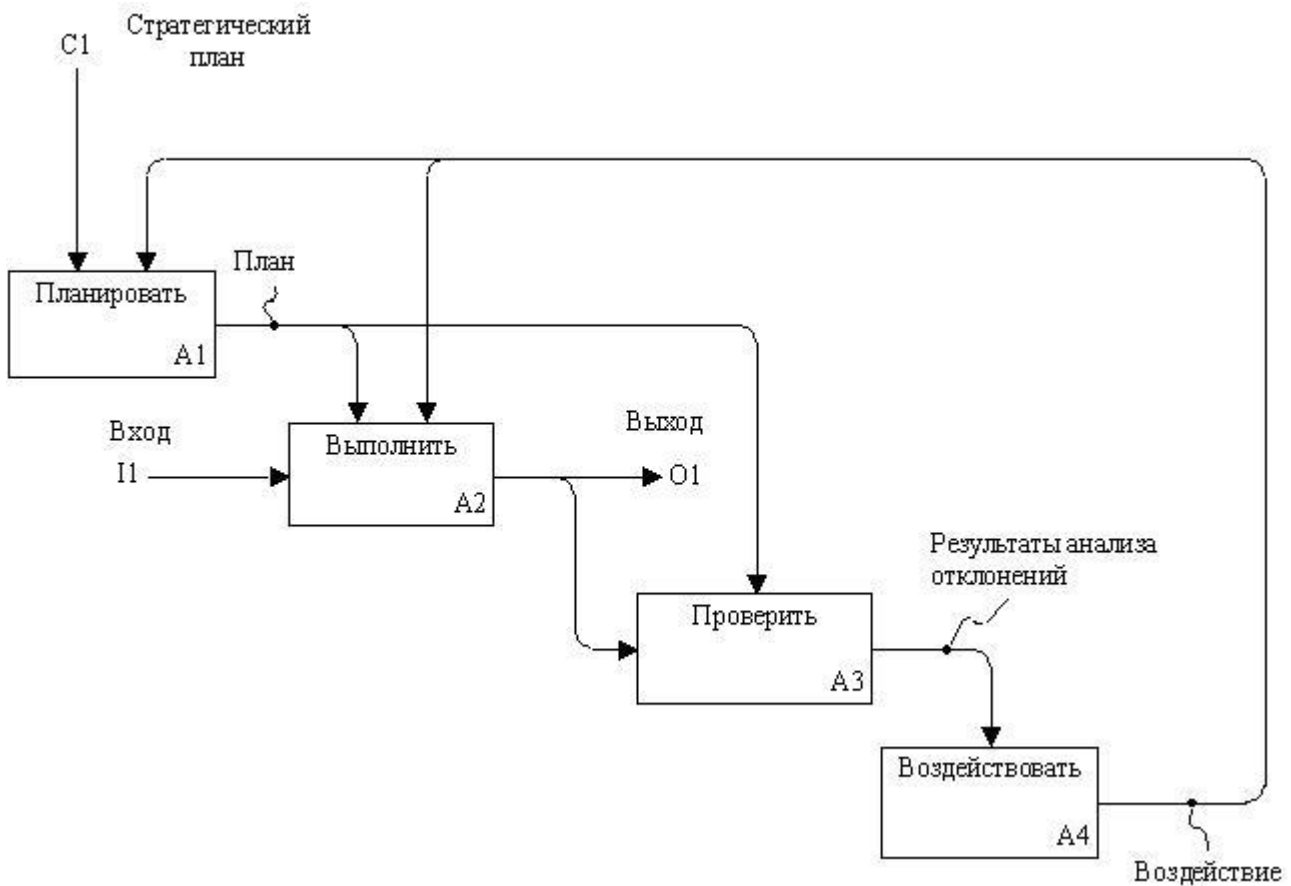


Рис. 5. Модель системы «как должно быть»

В данной модели используется набор объектов *Воздействие*. В него входят и *Отчет о выполнении количественных показателей*, на основе которого будет проводиться разработка *Плана*. В этот набор объектов входят *Управленческие решения*, обеспечивающие устранение недостатков в деятельности в области качества. В функции **Проверить А3** проводится проверка результатов деятельности (*Выход*) как по количественным, так и по качественным показателям. *Результаты анализа отклонений* служат основой для выработки *Воздействия*.

Анализ данного иллюстративного примера позволяет сделать следующий практический вывод – для разработки модели «как должно быть» необходимо предварительно провести анализ тех изменений, которые требуется внести в модель «как есть». Результаты этого анализа следует зафиксировать в виде списка дополнительных объектов и функций модели «как должно быть» и списка объектов и функций, которые должны быть исключены из модели. В том случае, когда объекты и функции в модели «как должно быть» изменяют свое определение, то это должно быть также предварительно зафиксировано в описании необходимых изменений. Возникает вопрос: «В в какой форме наиболее рационально зафиксировать результаты такого анализа?». На основе принципа *сочетание логического и функционального подхода в разработке моделей систем* целесообразно сначала предлагаемые изменения оформить в виде текстового описания (логическая модель), а затем реализовать в функциональной модели «как должно быть». После этого согласовать логическую и функциональную модели.

Пятым принципом проектирования организационно-технических систем, является *переход к модели «как должно быть» производить на основе детального текстового описания необходимых изменений*.

Для организационно-технических систем организационный аспект деятельности имеет такое же определяющее значение, как и технический аспект. В связи с этим, при

разработке проектов необходимо уделить этому вопросу должное внимание. Речь идет об определении организационных проектных решений, требующихся для реализации технических проектных решений. Эта задача решается на основе разработки технологической модели проекта. В рамках разработки проекта системы под технологической моделью понимается описание действий, которые должен выполнять персонал, использующий систему в своей деятельности. Разработка технологической модели ведется на основе функциональной модели «как должно быть» и является ее отражением на организационную структуру, обеспечивающую реализацию функций системы.

Технологическая модель может состоять из нескольких разделов в зависимости от числа операций технологических процессов, подлежащих описанию. Каждый раздел должен четко детально характеризовать всю последовательность работы персонала в условиях данной технологии. Указываются:

- перечень функциональных ролей (должностей);
- порядок выполнения операций, при этом для каждой операции указывают:
 - при каких условиях следует выполнять операцию;
 - какова цель, результат операции;
 - порядок выполнения операции;
 - сроки, затрачиваемые на выполнение процесса (операции), исполнителей (отдел, должность);
 - кто контролирует выполнение операции.

На технологические операции рекомендуется составлять блок-схемы, поясняющие инструкции. Графическое изображение технологических процессов наглядно демонстрирует все связи и взаимодействия при выполнении операций технологического процесса.

Принцип *разработки технологической модели реализации функций системы* является завершающим, шестым, принципом проектирования систем на основе системного подхода.

Заключение

Таким образом, для повышения качества проектирования организационно-технических систем рекомендуется использовать следующие принципы:

1. Детальный анализ задания на проектирование;
2. Создание общего образа предметной области;
3. Формулировка цели разработки модели системы на основе предложений по повышению эффективности организации;
4. Сочетание логического и функционального подхода в разработке моделей систем
5. Переход к модели «как должно быть» производить на основе детального текстового описания необходимых изменений;
6. Разработка технологической модели реализации функций системы.

Данные принципы направлены на повышение уровня системности процесса проектирования, заключающегося в принятии решений на основе:

- структурирования всех данных, используемых при проектировании;
- выявления причинно-следственных связей при детальном анализе проблем;
- логического анализа получаемых результатов.

Библиографический список

1. **Перегудов, Ф.И.** Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
2. **Детметр, У.** Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию: [пер. с англ.] / Уильям Детметр. – М.: Альпина Паблицерз, 2010. – 444 с.
3. **Марка, Д.А.** Методология структурного анализа и проектирования: [пер. с англ.] / Д.А. Марка, К.М. Гоуэн. – М.: МетаТехнология, 1993. – 240 с.

4. **Репин, В.В.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В.В. Репин, В.Г. Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 408 с.

*Дата поступления
в редакцию 25.06.2013*

A.V. Zaporozhtsev

THE DESIGN PRINCIPLES OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: To determine the principles of design of organizational and technical systems, designed to improve the quality of project development.

Methodology: Development of principles of designing is based on a detailed analysis of the design process from the point of view of system approach, methods of structural analysis and design (SADT), using the principles and tools of the theory of constraints systems (TOC) and the process approach in management.

Approach: Improving the consistency of the design process, consisting in making decisions on the basis of:

- structuring of all the data used in the design;
- problem analysis based on the identification of causal relationships;
- logical analysis of the obtained results.

Results and application area: Designed basic principles of design of organizational and technical systems that cover all stages of project development from the analysis of the design task to develop a technological models of realization of functions of the system. These principles can be used in the practice of design of any organizational - technical systems.

Summary: The real increase of the quality of the design can be achieved only through informed use of systemic methodologies.

Key words: organizational and technical system, systems approach, system model, structural analysis and design, theory of constraints systems.

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 621.378.82

В.А. Бажилов, Е.А. Михалицын

ТОЧНАЯ ЮСТИРОВКА ФИКСИРОВАННЫХ АТТЕНУАТОРОВ С МАЛЫМ УРОВНЕМ ОСЛАБЛЕНИЯ

ФНПЦ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Проведено исследование влияния лазерной подгонки на характеристики СВЧ аттенуаторов с малым уровнем ослабления построенных на основе неоднородных распределенных резистивных структур.

Ключевые слова: фиксированные аттенуаторы, резистивные пленки, лазерная подгонка.

Введение

Фиксированные аттенуаторы в микрополосковом тонкопленочном исполнении находят широкое применение в трактах приемопередающей РЭА СВЧ и используются для калиброванного ослабления мощности, развязки взаимовлияющих функциональных узлов, согласования импедансов в межкаскадных СВЧ цепях. В литературе подробно рассмотрены вопросы расчета и проектирования тонкопленочных микрополосковых аттенуаторов среднего и высокого уровня ослабления [1-3], тогда как аттенуаторы с малым ослаблением (0,5–4 дБ) в силу ряда их особенностей исследованы не в полной мере.

Известно, что лазерная подгонка резистивных структур аттенуатора позволяет смягчить конструктивно-технологические требования к формированию топологии и самому процессу изготовления. Вместе с тем, анализ влияния лазерной подгонки резистивных пленок на частотные характеристики и тепловые режимы работы устройства в литературе практически отсутствует. А компромиссное соотношение технологических возможностей производства и требований к техническим характеристикам аттенуатора позволит увеличить выход годной готовой продукции и снизить её стоимость. В данной работе проводится численное исследование влияния величины реза неоднородной резистивной структуры на частотные свойства фиксированных аттенуаторов малого уровня ослабления. При этом очень важным аспектом расчета является его нацеленность на практическое применение в инженерной и технологической практике.

Конструктивная и расчетная модели

Рассмотрим низкодецибелный аттенуатор, конструктивно представляющий собой диэлектрическую пластину, на верхнюю сторону которой нанесены две тонкие (меньше толщины скин-слоя) резистивные пленки, а также проводящие центральные и заземляющий контакты (рис.1). Между входным и выходным центральными контактами напыляется резистивная пленка с малой величиной поверхностного сопротивления $\rho_1=5 - 25 \text{ Ом}/\square$. Пленка с более высоким значением поверхностного сопротивления $\rho_2=100 - 1000 \text{ Ом}/\square$ примыкает к низкоомной и соединяется с заземляющим контактом. Заземление осуществляется косвенным образом с помощью перемычки.

Представленная конструктивная модель аттенюатора на основе неоднородной тонкопленочной резистивной структуры позволяет получать номиналы коэффициента ослабления A от 0,5 до 4 дБ. Отклонение величины ослабления от номинального значения на постоянном токе обозначим ΔA , неравномерность ослабления в полосе рабочих частот - α . Точная юстировка величины ослабления на постоянном токе обеспечивается лазерной подгонкой по низко- и высокоомной резистивным пленкам (рис. 1). Частотная равномерность ослабления зависит от геометрических размеров неоднородной резистивной структуры, а также от величины лазерных резов. Симметричность лазерных резов относительно оси симметрии резистивной структуры обеспечивает симметричность частотных характеристик плеч аттенюатора.

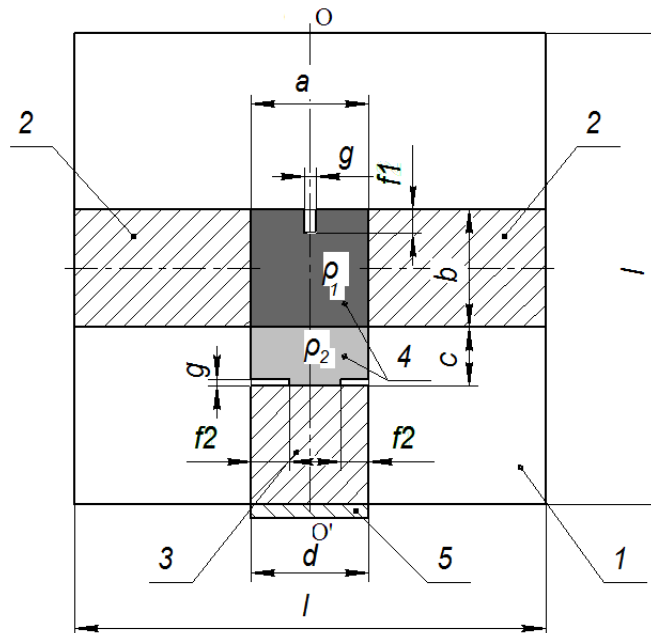


Рис. 1. Эскиз топологии платы аттенюатора:

1 – диэлектрическая подложка; 2 – входной и выходной контакты; 3 – заземляющий контакт; 4 – резистивные пленки, $\rho_2 > \rho_1$; 5 – заземляющая перемычка

Эквивалентная схема замещения аттенюатора на постоянном токе представляет собой П-образное соединение трех сопротивлений: последовательного R_1 и двух сопротивлений на землю R_2 [1]. Параметры подобной схемы поддаются строгому инженерному расчету методом симметрично-ассиметричного возбуждения [4]. Величина ослабления A (дБ) и нормируемое к волновому сопротивлению подводящей линии Z_{ax} входное сопротивление устройства r находятся по формулам:

$$A = 20 \lg \left[\left(1 + \frac{1}{r_2} \right) \left(1 + \frac{r_1}{2} + \frac{r_1}{2r_2} \right) \right]; \quad r = \left(\frac{1}{r_2} + \frac{r_2 + 1}{r_1 r_2 + r_2 + r_1} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где r_1, r_2 - нормируемые к Z_{ax} сопротивления R_1 и R_2 .

В связи с этим поставленная задача создания аттенюатора с уровнем ослабления на постоянном токе $A \pm \Delta A$ сводится к определению размеров, поверхностных сопротивлений пленок аттенюатора, обеспечивающих требуемые значения сопротивлений R_1 и R_2 , а также допустимых отклонений указанных величин с учетом лазерной подгонки.

Расчет сопротивлений R_1 и R_2 проведем аналитически. Для этого рассечем исходную распределенную резистивную структуру вдоль оси симметрии OO' . Рассчитав сопротивления этой структуры с контактами, расположенными так, как показано на рис. 2, a , найдем

$1/2R_1$. Рассчитав контактное сопротивление структуры рис. 2, б, получим величину сопротивления R_2 .

Для этого запишем для первой структуры (рис. 2, а) в областях:

$$I(x \in [0, a/2], y \in [0, f_1],$$

$$II(x \in [0, a/2], y \in [f_1, b],$$

$$III(x \in [0, a/2], y \in [b, b+c],$$

и для второй структуры (рис. 2, б) в областях:

$$I(x \in [0, a/2], y \in [0, b],$$

$$II(x \in [0, f_2], y \in [b, b+c],$$

$$III(x \in [f_2, a/2], y \in [b, b+c],$$

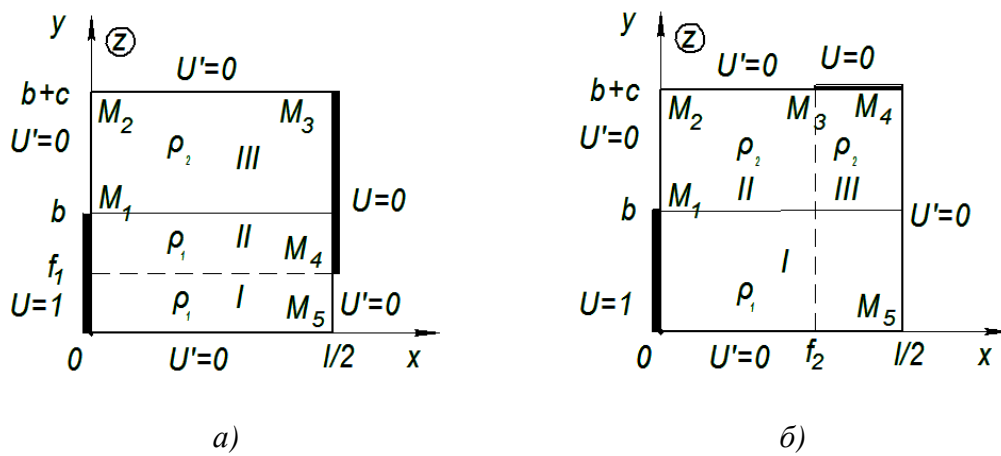


Рис. 2. Распределенные резистивные структуры

уравнения Лапласа

$$\frac{d^2U_i}{dx^2} + \frac{d^2U_i}{dy^2} = 0 \quad (i = I, II, III) \tag{2}$$

при краевых условиях для первой структуры

$$U_I(0, y) = U_{II}(0, y) = U_1, \quad U_{II}(a/2, y) = U_{III}(a/2, y) = U_2,$$

$$\left. \frac{\partial U_I}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_I}{\partial x} \right|_{x=a/2} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial y} \right|_{y=b+c} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \tag{3a}$$

и для второй

$$U_I(0, y) = U_1, \quad U_{II}(a/2, y) = U_{III}(a/2, y) = U_2,$$

$$\left. \frac{\partial U_I}{\partial x} \right|_{x=a/2} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_I}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial y} \right|_{y=b+c} = 0, \quad \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial x} \right|_{x=a/2} = 0. \tag{3б}$$

При условиях сопряжения для первой структуры

$$U_I(x, f_1) = U_{II}(x, f_1), \quad U_I(x, b) = U_{II}(x, b),$$

$$\left. \frac{\partial U_I}{\partial y} \right|_{x=f_1} = \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial y} \right|_{y=f_1}, \quad \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial y} \right|_{y=b} = \Omega \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial y} \right|_{y=b}, \tag{4a}$$

и для второй резистивной структуры

$$U_I(x, b) = U_{II}(x, b), \quad U_{II}(f_2, y) = U_{III}(f_2, y),$$

$$\left. \frac{\partial U_I}{\partial y} \right|_{y=b} = \Omega \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial y} \right|_{y=b}, \quad \left. \frac{\partial U_{II}}{\partial x} \right|_{x=f_2} = \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial x} \right|_{x=f_2}, \quad \left. \frac{\partial U_I}{\partial y} \right|_{y=b} = \Omega \left. \frac{\partial U_{III}}{\partial y} \right|_{y=b}, \quad (46)$$

где $U_i(x, y)$ - поле потенциалов в резистивной структуре; $\Omega = \rho_1 / \rho_2$ - параметр, характеризующий степень неоднородности резистивной структуры.

Поставленные краевые задачи (2)-(4) решаем методом разделения переменных. Для поля потенциалов в областях I-III первой структуры (рис. 2, а) получаем:

$$U_I = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin(\alpha_n x) \operatorname{ch}(\alpha_n y),$$

$$U_{II} = \frac{a/2 - x}{a/2} + \sum_{n=0}^{\infty} B_n \sin(\beta_n x) \{ \operatorname{ch}[\beta_n (y - f_1)] + \operatorname{ch}[\beta_n (b - y)] \},$$

$$U_{III} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sin[\alpha_n (a/2 - x)] \operatorname{ch}[\alpha_n (b + c - y)], \quad (5a)$$

и второй резистивной структуры:

$$U_I = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin(\alpha_n x) \operatorname{ch}(\alpha_n y),$$

$$U_{II} = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cos[\beta_n x] \operatorname{ch}[\beta_n (b + c - y)],$$

$$U_{III} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos[\beta_n x] \operatorname{sh}[\beta_n (b + c - y)], \quad (5b)$$

где $\alpha_n = \frac{\pi(2n+1)}{a}$, $\beta_n = \frac{2\pi n}{a}$.

Подставляя выражения для полей потенциалов (5) в условия сопряжения (4), получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов A_n , B_n , C_n . Выражая B_n , C_n через коэффициенты A_n , приходим к следующей бесконечной системе уравнений относительно коэффициентов $A'_n = A_n (-1)^n \operatorname{sh}(\alpha_n a/2)$ для первой структуры

$$\sum_{k,n=0}^{\infty} \frac{A'_n}{(\alpha_n / \beta_k)^2 - 1} \left\{ \operatorname{cth}(\alpha_n f_1) + \frac{\alpha_n}{\beta_k} \frac{1 + \operatorname{ch}[\beta_k (b - f_1)]}{\operatorname{sh}[\beta_k (b - f_1)]} \right\} = 1, \quad (6a)$$

и для второй резистивной структуры

$$\sum_{k,n=0}^{\infty} A'_n I_{nk} \left\{ \operatorname{cth}(\alpha_n f_1) + \frac{1}{\Omega} \frac{\alpha_n}{\beta_k} \operatorname{cth}[\beta_k (b + c - f_1)] \right\} = I_k, \quad (6b)$$

$$\text{где } I_{nk} = \frac{a}{2\pi} \left\{ \frac{\cos \left[\frac{\pi f_2}{a} (2(n+k)+1) \right]}{2(n+k)+1} + \frac{\cos \left[\frac{\pi f_2}{a} (2(n-k)+1) \right]}{2(n-k)+1} \right\} - \frac{a}{2\pi} \left\{ \frac{1}{2(n+k)+1} + \frac{1}{2(n-k)+1} \right\},$$

$$I_k = \frac{1}{\beta_k} \sin \frac{2\pi k f_2}{a}.$$

Решая полученные системы линейных уравнений (6) методом редукции, находим коэффициенты A_n . Сопротивление рассматриваемых структур находится исходя из величины тока, протекающего через поперечное сечение резистивного слоя вблизи контакта OM_1 , по формулам:

$$R_1 = 2 / \left[\frac{1}{\rho_1} \sum_{n=0}^{\infty} A'_n \right], \quad R_2 = \rho_1 / \left[\sum_{n=0}^{\infty} \left\{ A'_n + 2B_n \operatorname{sh}[\beta_n(b-f_1)] - 2 \frac{b-f_1}{a} \right\} \right]. \quad (7)$$

Сравнение результатов расчета контактного сопротивления при $\Omega = 1$ и $\Omega = 0$ ($\rho_2 \gg \rho_1$) с результатами, полученными для однородных резистивной структуры методом конформных отображений [1], показало расхождение не более 0,15%. На рис. 3 приведены графики зависимости сопротивления R_1 от параметра неоднородности резистивной структуры (рис. 3, а), от коэффициента формы высокоомного резистора (рис. 3, б), от относительной величины лазерного реза низкоомной пленки (рис. 3, в), а также сопротивления R_2 от относительной величины лазерной подрезки высокоомной резистивной пленки вблизи заземляющего контакта (рис. 3, г).

Поскольку провести непосредственное измерение значений сопротивлений R_1 и R_2 вследствие особенностей топологии аттенуатора практически невозможно, для оценки реализуемой величины ослабления и её точной юстировки предлагается измерять в процессе лазерной подгонки сопротивления R'_1 и R'_2 , которые связаны с R_1 и R_2 соотношениями:

$$R'_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 / 2 + R_2}; \quad R'_2 = \frac{R_2}{2}. \quad (8)$$

Схемы измерения указанных сопротивлений представлены на рис.4. Поскольку введение прорези по низкоомной резистивной пленке изменяет только R_1 , а подрезка высокоомной резистивной пленки изменяет оба сопротивления [5], то сначала следует проводить лазерную подгонку по высокоомной резистивной пленке (рис. 4, а), затем - по низкоомной (рис. 4, б).

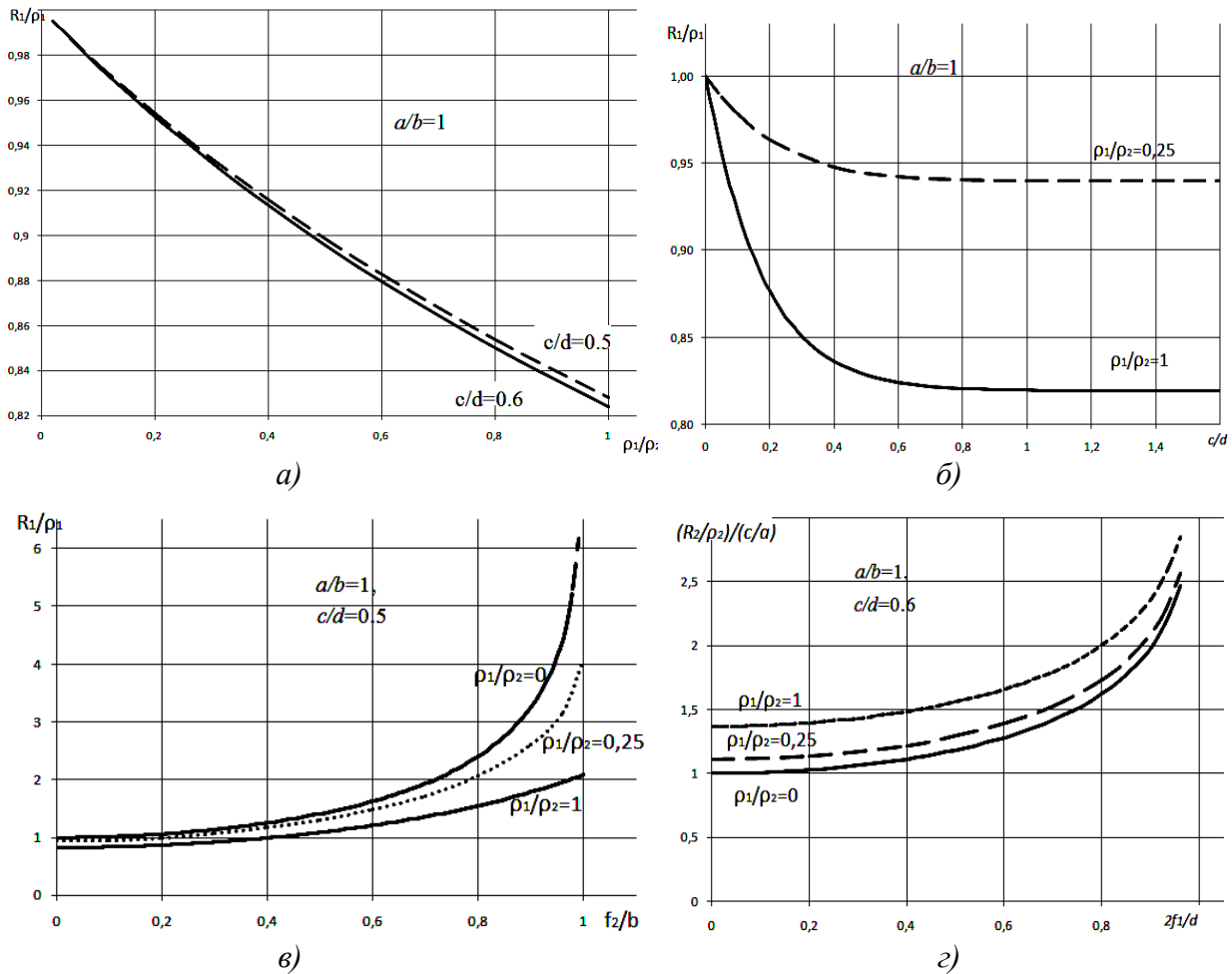


Рис. 3. Результаты расчета сопротивлений

Выражая из (8) R_1 и R_2 через R'_1 и R'_2 и подставляя в (1), получаем:

$$A = 20 \lg \left[\left(1 + \frac{Z_{ex}}{2R'_2} \right) \left(1 + \frac{2R'_2 R'_1}{Z_{ex}(4R'_2 - R'_1)} + \frac{2R'_2}{4R'_2 - R'_1} \right) \right];$$

$$r = \left(\frac{Z_{ex}}{2R'_2} + \frac{R'_2 + Z_{ex}/2}{\frac{4R'_1 R'^2_2}{Z_{ex}(4R'_2 - R'_1)} + R'_2 + \frac{2R'_1 R'_2}{(4R'_2 - R'_1)}} \right)^{-1}, \quad (9)$$

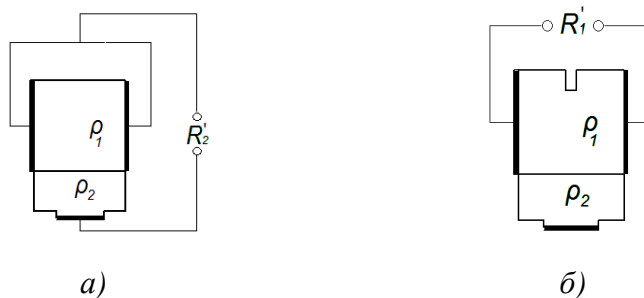


Рис. 4. Схемы технологического контроля

В табл. 1 приведены результаты расчета сопротивлений R_1 и R_2 , а также R'_1 и R'_2 , обеспечивающих заданную величину ослабления. Анализ чувствительности величины ослабления низкодецибелльных аттенуаторов S_1 и S_2 к изменению сопротивлений R'_1 и R'_2 показал, что относительный вклад в величину ΔA погрешности лазерной подгонки R'_1 и R'_2 по модулю приблизительно одинаков и составляет 0,5%. При этом знаки указанных чувствительностей противоположны, поэтому равные относительные отклонения величин сопротивлений не будут приводить к существенному отклонению величины ΔA от нулевого значения. Очевидно, что согласование устройства при этом несколько ухудшится.

Таблица 1

Сопротивления и чувствительности величины ослабления

| A, дБ | R_1 , Ом | R_2 , Ом | R'_1 , Ом | R'_2 , Ом | S_1 | S_2 |
|-------|------------|------------|-------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 5,77 | 869,6 | 5,75 | 434,8 | 0.493 | -0.500 |
| 2 | 11,61 | 436,2 | 11,46 | 218,1 | 0.488 | -0.499 |
| 3 | 17,61 | 292,4 | 17,10 | 146,2 | 0.479 | -0.498 |
| 4 | 23,85 | 110,5 | 22,63 | 110,5 | 0.473 | -0.495 |

Используя предложенную математическую модель, можно с учетом технологического допуска на размеры резистивной структуры сформировать требования к минимальной величине поверхностных сопротивлений пленок. Нижняя граница отклонений поверхностных сопротивлений определяется исходя из максимальной величины лазерного реза. Последняя зависит от требований к частотным характеристикам и тепловым режимам работы аттенуатора.

Частотные характеристики

Эквивалентная схема СВЧ платы аттенуатора с подводящими линиями представлена на рис. 5. Паразитная емкость на землю C_3 определяется габаритными размерами резистивной структуры и величиной лазерного реза по высокоомной пленке f_2 . Величина последовательной паразитной индуктивности резистивной структуры L_2 зависит от длины a резистивной пленки и величины лазерного реза f_1 . Эквивалентом центральных контактов выступает

ФНЧ, образованный индуктивностью $L1$ и емкостями $C1$ и $C2$. Емкость $C4$ представляет собой краевую емкость между торцами центральных контактов. Паразитная индуктивность $L3$ задается заземляющей перемычкой.

В ходе численного моделирования сеточными методами было установлено, что на частотные характеристики низкодцецибельных аттенуаторов наибольшее влияние оказывает паразитная емкость на землю $C3$ (рис. 5). Чем больше эта емкость, тем быстрее с ростом частоты увеличивается затухание. Подрезка контакта высокоомной пленки приводит к возникновению дополнительной эквивалентной емкости параллельного шлейфа, представляющего собой отрезок линии из резистивного материала. С ростом частоты эквивалентная емкость увеличивается, что приводит к существенному сужению полосы рабочих частот аттенуатора.

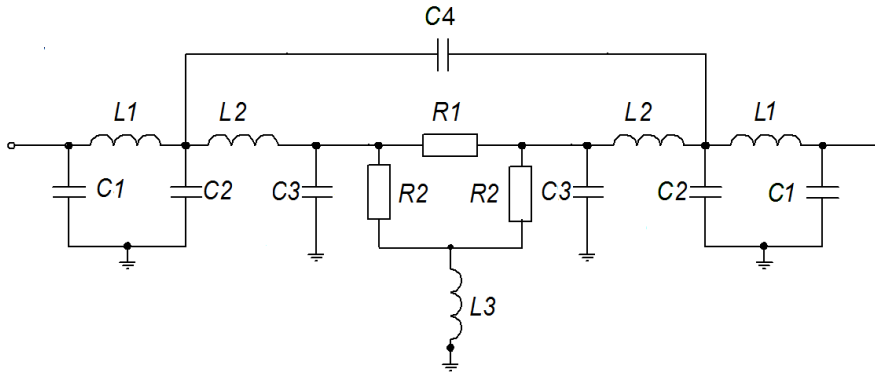


Рис. 5. Эквивалентная схема аттенуатора

Лазерная подгонка низкоомной резистивной пленки приводит к увеличению индуктивности $L2$ (рис. 5), что также снижает верхнюю рабочую частоту устройства.

На рис. 6 представлены графики частотной зависимости величины ослабления для одноступенчатых аттенуаторов с различными вариантами юстировки резистивных пленок. Из графиков видно, что подрезка высокоомной резистивной пленки практически в два раза снижает верхнюю рабочую частоту, в отличие от лазерной подгонки низкоомной резистивной пленки, при одинаковых значениях относительных величин лазерного реза.

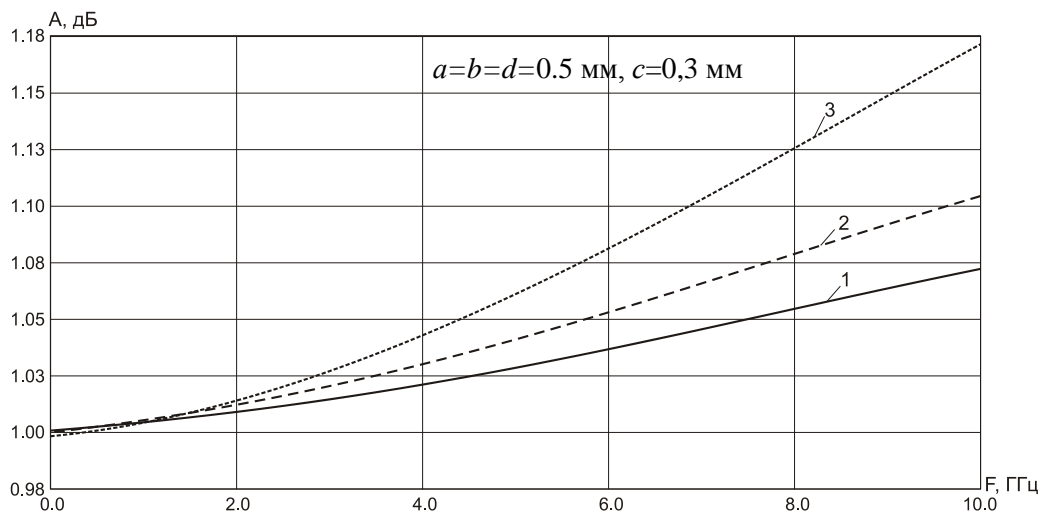


Рис. 6. Частотная зависимость ослабления аттенуатора с параметрами:

- 1 – без лазерной подгонки: $\rho_1=5.8 \text{ Ом}/\square$, $\rho_2=720 \text{ Ом}/\square$;
- 2 – с лазерной подгонкой по низкоомной пленке: $\rho_1=3.8 \text{ Ом}/\square$, $\rho_2=720 \text{ Ом}/\square$, $f_2 = b/2$;
- 3 – с подгонкой по высокоомной резистивной пленке: $\rho_1=5,8 \text{ Ом}/\square$, $\rho_2=400 \text{ Ом}/\square$, $f_1 = 0.35d$

Неравномерность ослабления α и КСВн в частотной полосе 10 ГГц для разработанных

низкодецибелных аттенуаторов приведены в табл. 2. Минимальная неравномерность ослабления α_{\min} достигается при отсутствии лазерной подгонки, т. е. при максимальных значениях поверхностных проводимостей резистивных пленок. КСВн и α_{\max} соответствуют случаю максимальной величины лазерного реза. При этом погрешность величины ослабления на нулевой частоте составляла 0,01 дБ от номинального значения.

Таблица 2

Характеристики низкодецибелных аттенуаторов

| A, дБ | ρ_1 , Ом/□ | ρ_2 , Ом/□ | α_{\min} | α_{\max} | КСВн |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
| 1 | 3,5 – 5,5 | 370 – 720 | 0,08 | 0,2 | 1,3 |
| 2 | 9 – 11 | 190 – 370 | 0,10 | 0,3 | 1,4 |
| 4 | 19 – 22,5 | 90 – 190 | 0,15 | 0,4 | 1,5 |

Заключение

Таким образом, в результате исследований было выяснено, что при одинаковых размерах лазерных резов по низкоомной и высокоомной резистивным пленкам большей величиной частотной неравномерности ослабления и худшим КСВн характеризуются аттенуаторы с большим номиналом ослабления. Кроме того, подрезка высокоомной резистивной пленки вблизи заземляющего контакта существенно влияет на частотные характеристики аттенуатора, тогда как лазерная подгонка низкоомной резистивной пленки оказывает меньшее влияние.

Библиографический список

1. Садков, В.Д. Расчет тонкопленочной аттенуаторной пластины / В.Д. Садков, Ю.А. Горячев // Техника средств связи. Сер. Радиоизмерительная техника. 1977. Вып. 2. С. 13–19.
2. Моругин, С.Л. Анализ теплового режима и частотных характеристик тонкопленочных аттенуаторов ВЧ- и СВЧ-диапазонов / С.Л. Моругин, В.Д. Садков, В.Н. Уткин // Радиофизика. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 6. С. 34–39.
3. Анализ и моделирование сверхширокополосных фиксированных аттенуаторов СВЧ-диапазона / Г.Г. Гошин [и др.] // Доклады ТУСУРа. 2011. № 2 (24). Ч. 1.
4. Чижов, А.И. Метод определения элементов матрицы рассеяния СВЧ – четырёхполюсников // Антенны. 2007. Вып. 2 (117). С. 55–59.
5. Садков, В.Д. Расчет и юстировка тонкопленочных звеньев затухания // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1977. Вып. 9. С. 115–117.

Дата поступления
в редакцию 15.07.2013

V.A. Bagilov, E.A. Mihalitsyn

THE FINE ADJUSTMENT OF FIXED ATTENUATORS WITH A LOW ATTENUATION LEVEL

Federal research and production center
«Measuring system research institute n. a. Yu.Ye. Sedakov»

The paper deals with the inhomogeneous thin resistive film structure placed on the top side of a metalized substrate. The problem of the laser trimming effect on the attenuator frequency bandwidth is concerned here. A theoretical framework is proposed based on the partial region method. This routine method seems suitable to calculate distributed structure equivalent resistances which could be than measured and controlled. As a result, the aimed resistance values and the required tolerance, which ensures the appropriate direct current attenuation, are obtained. The proposed numerical model in the paper does not account for the laser beam size, which is much smaller than the dimensions of the resistive film. The present study provides an assuming of frequency bandwidth for laser trimmed attenuators with different values of a surface resistance. The chief aim of this comprehensive investigation is to estimate the parasitic grounded capacity influence to the attenuator operating characteristics.

Key words: fixed attenuators, thin resistive films, laser adjustment.

УДК 621.039.534

Ю.Н. Дроздов¹, А.В. Безносков², Т.А. Бокова², А.И. Шумилков²,
К.А. Махов², А.С. Черныш²

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ОБРАЗЦОВ В СРЕДЕ ТЖМТ

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Представлены результаты экспериментальных работ по исследованию триботехнических характеристик трения в среде высокотемпературного свинцового теплоносителя при продольном возвратно-поступательном перемещении образцов, выполненных из стали аустенитного класса 12X18H10T. Исследования проводились при температуре 500⁰С, содержании кислорода в свинце на линии насыщения (термодинамической активности теплоносителя) 10⁰, состоянии контактных поверхностей пары - материал в состоянии поставки и со сформированными на поверхностях образцов оксидными покрытиями в среде расплава свинца, удельная нагрузка варьировалась от 0,5 до 23 кг/см², скорость относительного перемещения образцов 0,005-0,01 м/с. Получены повторяющиеся представительные результаты зависимости коэффициента трения в среде ТЖМТ от пути перемещения исследуемых образцов.

Введение

Наша страна располагает значительным опытом создания и эксплуатации транспортных реакторных установок со свинец-висмутовым теплоносителем атомных подводных лодок проектов 645, 705 и 705К, а также исследований и отработки технологий и оборудования со свинцовым теплоносителем. При проведении этих работ вопросам триботехники в элементах реакторных контуров в среде тяжелых жидкометаллических теплоносителей внимания практически не уделялось. Имевшие место аварийные ситуации и необходимость обеспечить ресурсную работоспособность установок при работе энергоблока АЭС с установками БРЕСТ И СВБР не с моделью эксплуатации АПЛ, а с работой в течение нескольких десятилетий на номинальной мощности, инициировали проведение исследований и создание новой области трибологии – трибологии в среде высокотемпературных свинцового и свинец-висмутового теплоносителей инновационных реакторов на быстрых нейтронах, охлаждаемых этими теплоносителями.

Основными элементами рассматриваемых реакторных контуров, содержащих контактные пары трения в среде расплавов свинца и эвтектики свинец-висмут (объектами трибологии), являются следующие:

- главные циркуляционные насосы, наиболее ответственные элементы которых подшипники скольжения, работающие в среде высокотемпературных жидких металлов при высоких скоростях и нагрузках;
- элементы системы управления и защиты реакторов;
- стержни с нейтронопоглощающим веществом, находящимся в стальных оболочках, которая является поверхностью трения о внутреннюю поверхность чехла стержней-поглотителей в среде теплоносителя;
- элементы системы перегрузки ядерного топлива, содержащие поверхности трения в среде теплоносителя;
- трубная система парогенераторов в части поверхностей теплообменных трубок, контактирующих с дистанционирующими решетками;

- поверхности тепловыделяющих элементов, контактирующие с дистанционирующими решетками и др. Поверхности конструкционных материалов контура, контактирующие с поверхностью движущегося потока высокотемпературного жидкого металла также можно рассматривать как объект трибологии. Особенности трибологии в среде ТЖМТ следующее:
- невозможность применения традиционных смазочных сред в контакте с расплавами жидких металлов;
- высокая (400-550⁰С) температура контактных поверхностей;
- малая вязкость жидкометаллических теплоносителей;
- несмачиваемость рабочих поверхностей (сталей, чугунов), покрытых оксидными покрытиями теплоносителями;
- возможность интенсивного отвода тепла из зон контакта трущихся пар жидкометаллическими теплоносителями;
- концентрация в зоне контакта пар трения мелкодисперсных частиц и примесей (оксидов теплоносителей, соединений элементов конструкционных материалов – продуктов коррозионно-эрозионного износа, случайных загрязнений), образующих дисперсную систему с ярко выраженными поверхностными свойствами, отличающимися от свойств основного объема теплоносителя;
- на порядок большая плотность по сравнению с традиционными реакторными теплоносителями (натрий, вода);
- большая величина поверхностного натяжения по сравнению с традиционными теплоносителями. Для обеспечения ресурсной работоспособности проектируемого оборудования с контактными поверхностями в среде ТЖМТ для инновационных реакторов на быстрых нейтронах необходимо подтверждение работоспособности контактных поверхностей в среде ТЖМТ, исследование их триботехнических характеристик.

Для изучения влияния пристенного слоя сталь – ТЖМТ и образующегося оксидного покрытия на стали на триботехнические характеристики трущихся поверхностей (коэффициента трения и др.), при варьируемых параметрах высокотемпературного расплава свинца и эвтектики свинца-висмута. В НГТУ выполняется комплекс экспериментальных исследований.

Экспериментально исследовались зависимости влияния на трибологические характеристики (коэффициента трения и др.) контактной пары при фиксированной термодинамической активности O₂ (содержании активного кислорода, способного вступать в реакции окисления) в расплаве свинца и свинца-висмута при варьируемой приложенной нагрузке при возвратно-поступательном горизонтальном перемещении экспериментальных образцов конструкционных материалов в условиях, приближенных к натурным, применительно к инновационным реакторным установкам типа БРЕСТ и СВБР.

На находящиеся в контакте с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями металлических поверхностях образуются оксидные пленки в результате взаимодействия с кислородом, содержащемся в теплоносителе. Как правило, пристенный слой в среде ТЖМТ обогащен примесями: соединениями теплоносителя, компонентов конструкционных материалов и др. Образовавшиеся оксидные покрытия и пристенный слой предохраняют контактные поверхности сталей и чугунов от схватывания, связанного с ним глубинного вырывания и других негативных эффектов. Они являются важным фактором эксплуатации контактных поверхностей в реакторных условиях. Частицы оксидов теплоносителя (свинца, висмута) соединений компонентов сталей, пузырьки паров, газов и др., находящиеся в пристенных слоях поверхностей трения, пропитанные теплоносителем, оказывают эффект, аналогичный эффекту смазочного материала. Несмотря на то, что пристенный слой может быть обогащен соединениями компонентов конструкционных материалов, при трении контактной пары в этих условиях может происходить интенсивное изнашивание поверхностей контакта.

Целью экспериментального исследования являлось получение зависимости влияния

на коэффициент трения приложенной нагрузки контактной пары из оксидированных и неоксидированных образцов из стали 12Х18Н10Т, конечной целью испытаний определение триботехнических характеристик образцов конструкционных сталей в среде тяжелых жидких металлов реакторных установок.

Для достижения указанной цели решались следующие основные задачи:

- разработка схемы и конструкций экспериментальных стендов, программ и методик испытаний;
- разработка и монтаж высокотемпературных стендов с ТЖМТ и экспериментальных участков;
- отработка основных узлов конструкции экспериментальных участков;
- проведение экспериментальных исследований;
- обработка и анализ полученных результатов, проведение необходимых расчетно-теоретических исследований.

Эксперименты проводились последовательно на двух стендах попеременно одинаковыми методиками испытаний

Описание экспериментального стенда ТР-2010НГТУ

Стенд ТР-2010НГТУ предназначен для определения коэффициента трения контактных пар трения образцов из стали в ТЖМТ при температуре около 500 °С (рис. 1).

На рис. 1 изображены основные элементы высокотемпературного стенда ТР-2010НГТУ.

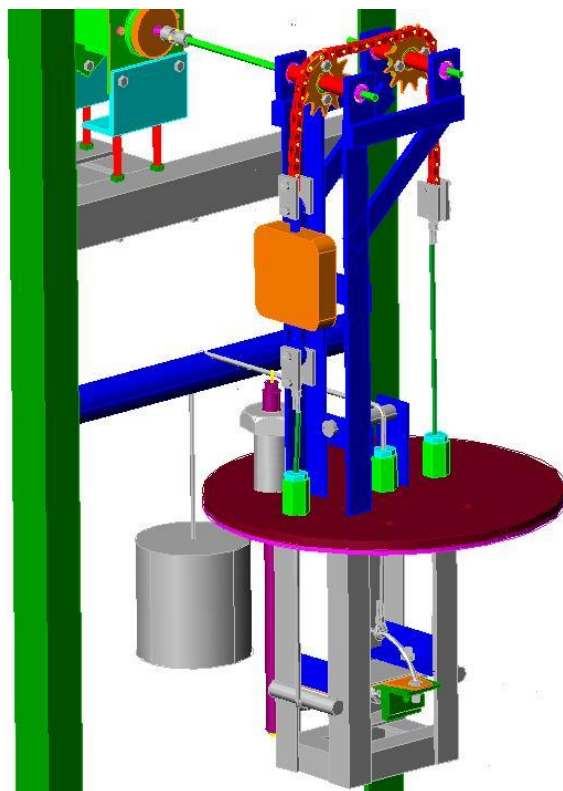


Рис. 1. Схема экспериментального участка высокотемпературного стенда ТР–2010НГТУ

В состав стенда ТР-2010НГТУ входят следующие элементы (рис. 2).

- емкость с ТЖМТ;
- система управления оборудованием и регулирования параметров стенда;
- система электроснабжения потребителей стенда;
- система защитного газа

Емкость заполнена расплавом тяжелого жидкометаллического теплоносителя. Обогрев

емкости осуществляется электрическим током нихромовыми электроспиралью. Снаружи емкость покрыта теплоизоляцией. В емкости на подвесной площадке размещен образец № 1. Образец №2 находится под ним и прижимается к нему в результате действия выталкивающей силы Архимеда и устройства, обеспечивающего необходимую силу нагружения экспериментального участка. Удельная нагрузка на контактную пару трения варьировалась в диапазоне от 0,5 до 2,5 кг/см² с помощью двух грузов массой 5 кг и 12,7 кг. При грузе в 5 кг удельная нагрузка изменялась от 0,5 кг/см² в начале участка до 1,2 кг/см² в конце экспериментального участка, при грузе 12,7 кг удельная нагрузка изменялась от 1 кг/см² в начале участка до 2,5 кг/см² в конце.

Перемещение образца №2 относительно образца №1 осуществляется посредством приводимой в движение двигателем системы блоков с тросами. Контактная пара трения погружена в свинцовый (свинец-висмутовый) теплоноситель.

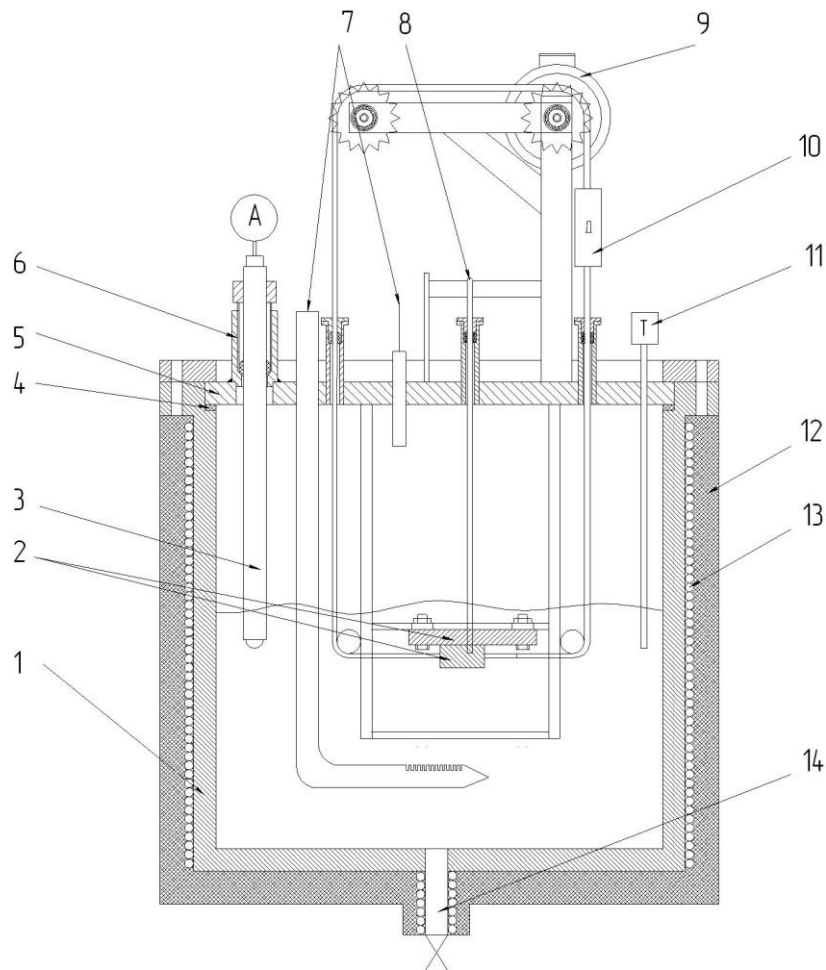


Рис. 2. Конструктивная схема стенда ТР-2010НГТУ:

1 – емкость; 2 – контактная пара трения; 3 – ДАК; 4 – прокладка; 5 – крышка; 6 – узел уплотнения ДАК; 7 – трубка подвода и отвода газа; 8 – устройство нагружения; 9 – электродвигатель; 10 – тензодатчик динамометра; 11 – погружной термопреобразователь; 12 – теплоизоляция; 13 – спираль электрообогрева; 14 – дренаж

Программа испытаний включала в себя следующее:

1. Определение силы трения, вносимой конструктивными элементами стенда. Режим «холостой ход». Исследование проводилось без образцов в среде воздуха и в среде свинцового теплоносителя при температуре 500°С, при постоянной скорости перемещения тросов 0,005 м/с и постоянной термодинамической активности O₂: 10⁰. В данном режиме определялась сила тяги, эквивалентная силе трения, вносимой конструктивными элементами стенда при проведении испытаний с контактной парой трения.

2. Определение коэффициента трения образцов из стали 12X18H10T в состоянии поставки, в среде воздуха при постоянной скорости перемещения образцов 0.005 м/с, переменной нагрузке - удельных давлений в диапазоне от 0.5 до 2,5 кг/см².

3. Определение коэффициента трения образцов из стали 12X18H10T в состоянии поставки, при температуре 500°С в среде свинцового (свинец-висмутого) теплоносителя при постоянной скорости перемещения образцов 0.005 м/с, постоянной термодинамической активности O₂: 10⁰ и переменной нагрузке (силе прижатия) - удельных давлений в диапазоне: от 0.5 до 2,5 кг/см².

4. Определение коэффициента трения запассивированных в расплаве свинца образцов из стали 12X18H10T при температуре 500°С в среде свинцового (свинец-висмутого) теплоносителя при постоянной скорости перемещения образцов 0,005 м/с, постоянной термодинамической активности O₂: 10⁰ и переменной нагрузке (силе прижатия) - удельных давлений в диапазоне от 0.5 до 2,5 кг/см². Время пассивации образцов 24 ч, условия пассивации - температура расплава свинца 450-480°С термодинамическая активность O₂: 10⁰

5. Обобщение и анализ полученных результатов.

Обсуждение результатов исследования

Результаты испытаний в среде воздуха и свинца: удельная нагрузка от 0,5 до 1.2 кг/см² и удельной нагрузкой на контактную пару трения от 1 до 2,5 кг/см².

Условия проведения испытаний в атмосфере воздуха: рабочая среда - воздух; температура - 20° С; материал контактной пары - аустенитная сталь 12X18H10T; состояние контактных поверхностей пары - материал в состоянии поставки; масса груза – 5 кг (удельная нагрузка от 0,5 до 1,2 кг/см²); скорость относительного перемещения образцов - 0,005 м/с.

Условия проведения испытаний в среде свинца: рабочая среда - свинец; температура - 500° С; материал контактной пары - аустенитная сталь 12X18H10; состояние контактных поверхностей пары - материал в состоянии поставки, поверхности контакта оксидированы и не оксидированы защитной пленкой (PbO); скорость относительного перемещения образцов - 0,005 м/с.

а) На рис. 3 представлены результаты проведенных исследований, полученные в ходе экспериментального исследования в диапазоне удельных нагрузок на контактную пару трения от 0.5 до 1,2 кг/см².

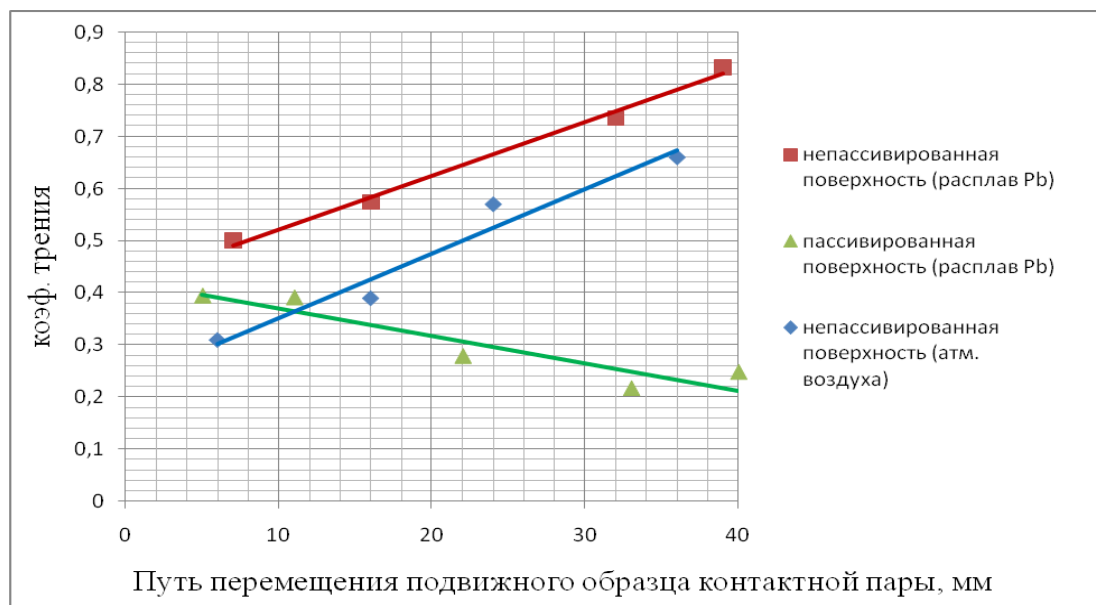


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары при удельной нагрузке от 0,5 до 1,2 кг/см²

б) На рис. 4 представлены результаты проведенных исследований, полученные в ходе экспериментального исследования в диапазоне удельных нагрузок на контактную пару тре-

ния от 1 до 2,5 кг/см². На рис. 5 изображены графики изменения коэффициента трения от пути перемещения подвижного образца для контактных пар со сформированными оксидными покрытиями на поверхностях образцов.

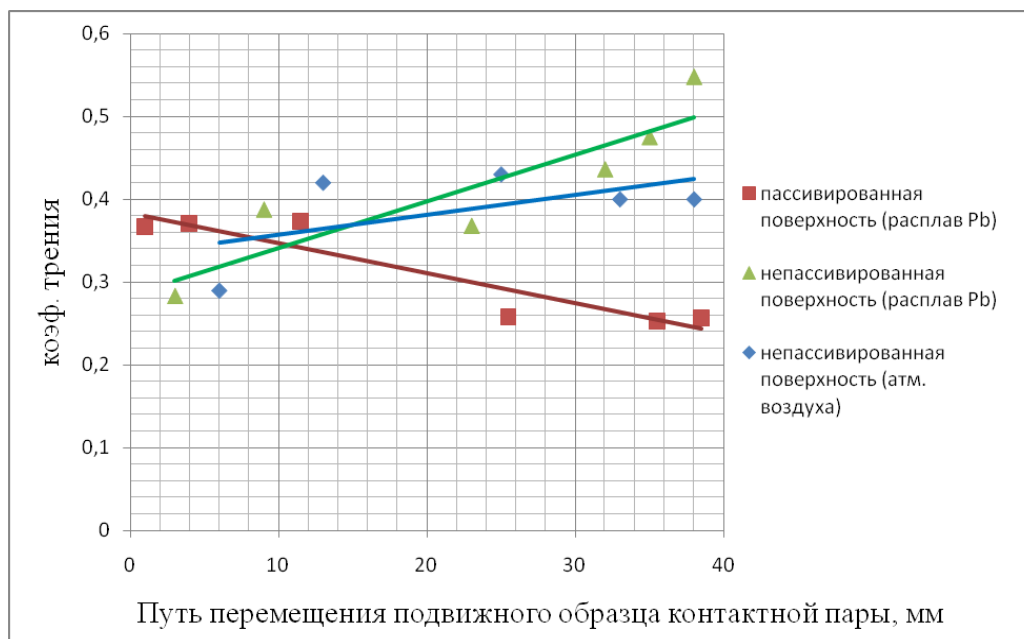
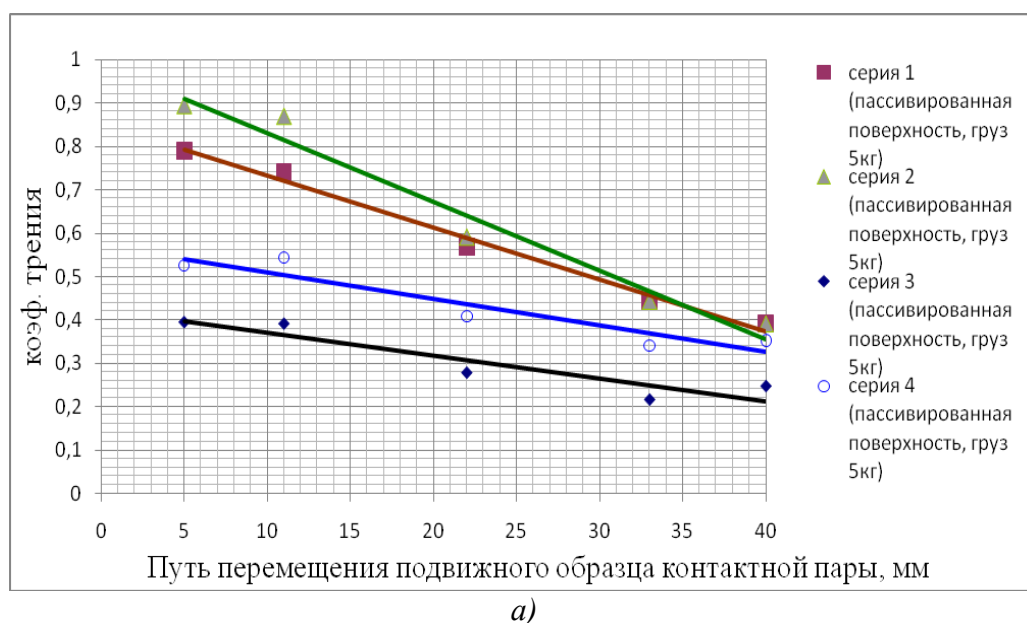


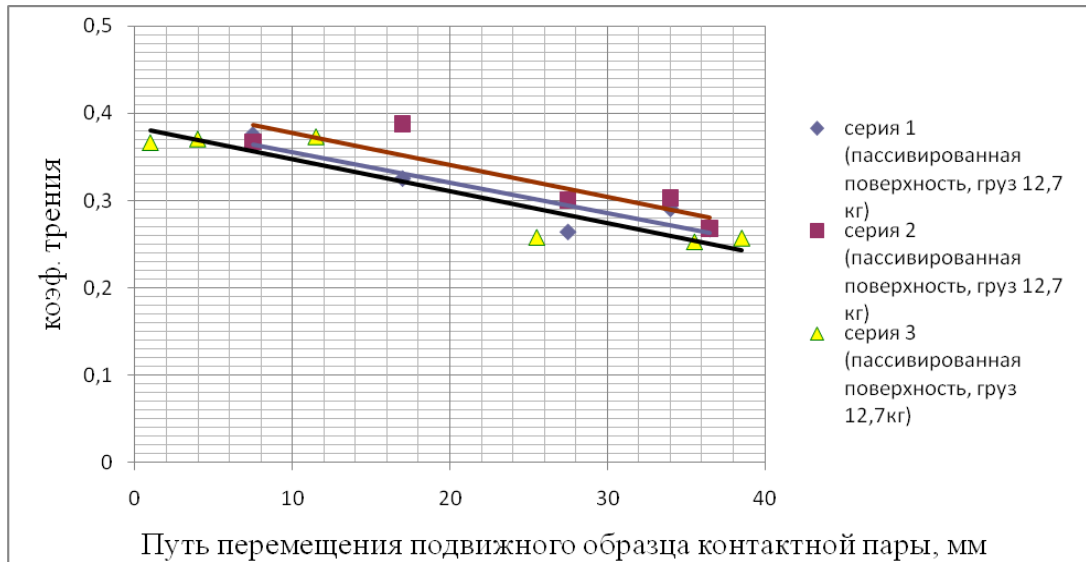
Рис. 4. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары при удельной нагрузке от 1 до 2,5 кг/см²

Исследование проводилось в расплаве свинца при температуре 500°С, термодинамической активности O₂ в свинце равной 10⁰, в диапазоне удельной нагрузки на контактную пару трения от 0,5 до 1,2 кг/см² (при грузе в 5 кг) и в диапазоне удельной нагрузки от 1 до 2,5 кг/см² (при грузе в 12,7 кг). Каждая кривая соответствует отдельной контактной паре трения образцов. Уменьшение коэффициента трения в процессе движения образца, по мнению авторов, может объясняться приработкой поверхностей контакта в процессе относительного движения контактных пар с оксидными покрытиями в среде свинцового теплоносителя.



а)

Рис. 5. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары (пассивированные поверхности образцов):
а – при удельной нагрузке от 0,5 до 1,2 кг/см²



б)

Рис. 5. Окончание. б – при удельной нагрузке от 1 до 2,5 кг/см²

После проведенных исследований были выполнены материаловедческие исследования образцов контактных пар.

На рис. 6 приведен пример профилограммы поверхностей контактных пар, выполненных из стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, после экспериментальных исследований.

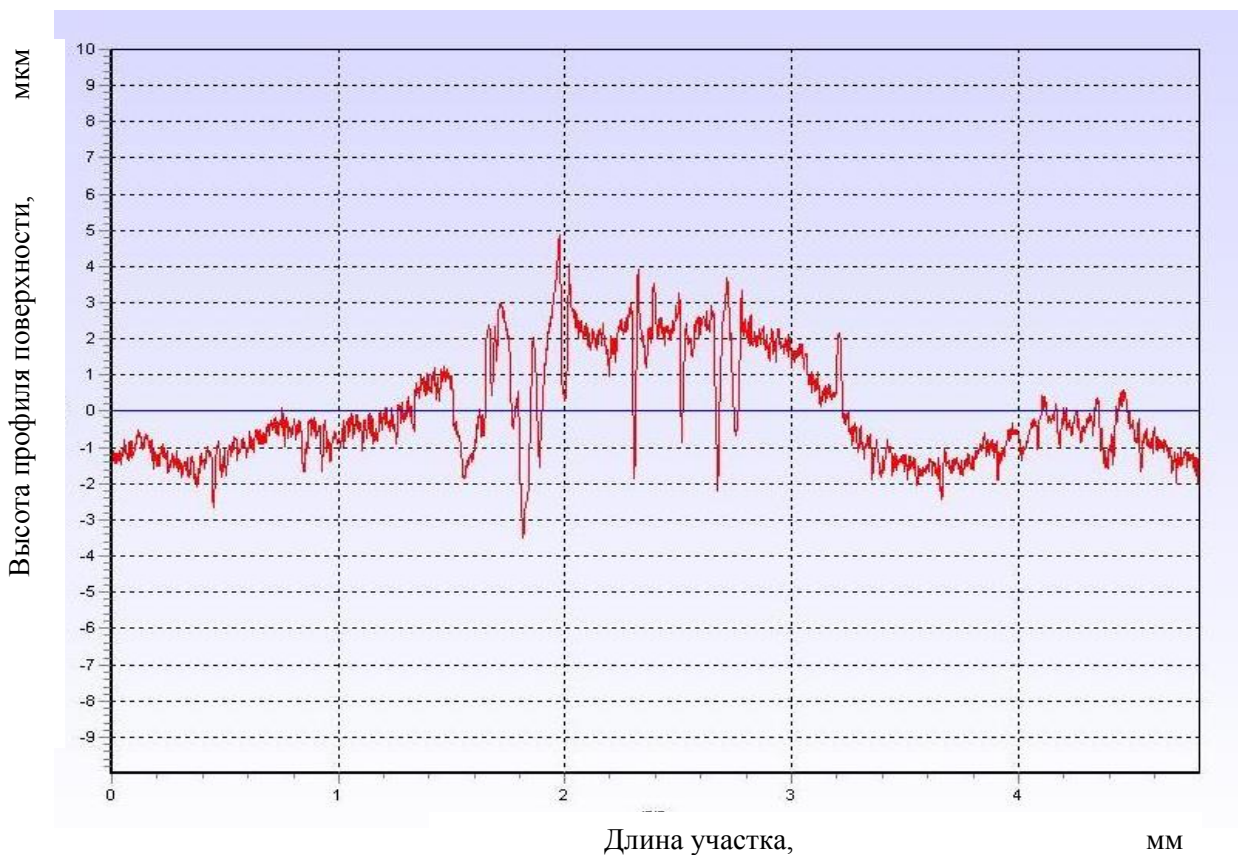


Рис. 6. Профилограмма поверхности контактной пары со сформированным оксидным покрытием после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^{\circ}\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельной нагрузке от 1 до 2,5 кг/см², шероховатости поверхности $Ra = 0,56$ (x400)

На рис. 7 изображено фото шлифа образца со сформированным оксидным покрытием после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^{\circ}\text{C}$, термодинамической активности кислорода равной 10^0 , удельная нагрузка от 1,2 до 2,5 кг/см². На данном фото четко видны сталь, слой рыхлых отложений, пропитанных свинцом, и между ними слой сформированной оксидной пленки.

На первом этапе экспериментов был апробирован специально созданный для этих целей высокотемпературный статический стенд для определения трибологических характеристик контактной пары в среде высокотемпературного расплава свинца в условиях, приближенных к натурным. В процессе проведения экспериментов были получены данные, подтверждающие зависимость изменения коэффициента трения от наличия оксидной пленки на поверхности образца.

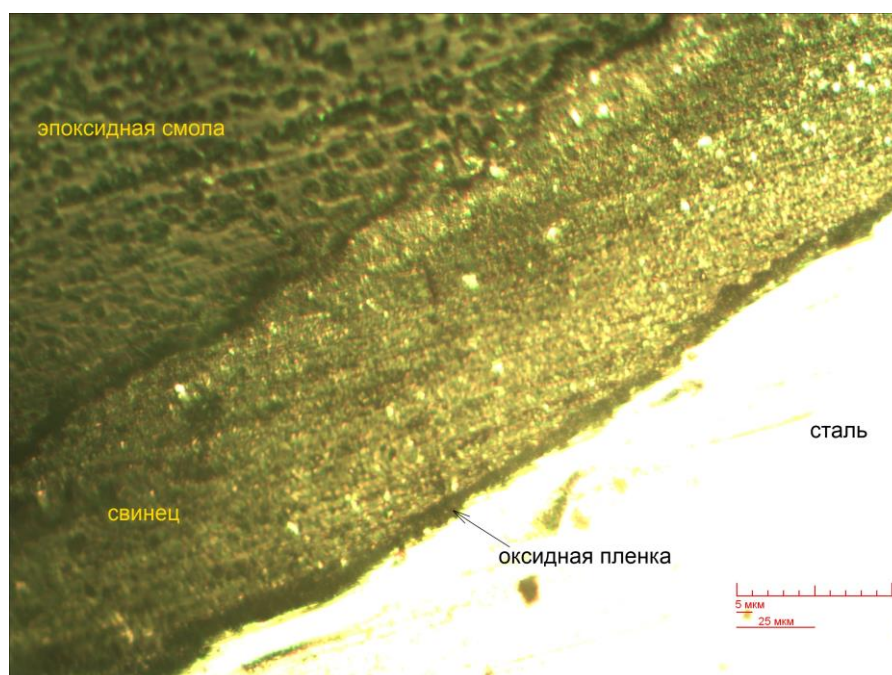


Рис. 7. Фото шлифа образца (с сформированным оксидным покрытием) после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^{\circ}\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельной нагрузке от 1 до 2,5 кг/см²; (x400)

Описание экспериментального стенда ТР-2012НГТУ

Стенд ТР-2012НГТУ предназначен для определения коэффициента трения контактных пар трения образцов из стали в ТЖМТ при температуре 450 - 550 °С (рис. 8).

На рис. 8 изображены основные элементы высокотемпературного стенда ТР-2012НГТУ.

В состав стенда ТР-2012НГТУ входят следующие элементы (рис. 9).

- рабочая емкость с экспериментальным участком;
- плавильный бак с ТЖМТ;
- система управления оборудованием и регулирования параметров стенда;
- система электроснабжения потребителей стенда;
- система защитного газа.

Плавильный бак заполнен расплавом тяжелого жидкометаллического теплоносителя. Обогрев плавильного бака осуществляется электрическим током нихромовыми электроспиральями. На дне рабочей емкости на площадке размещен образец № 1 выполненный в виде пластины из стали 12Х18Н10Т, с поверхностью контакта в состоянии поставки. Образец №2, изготовленный в виде металлического цилиндра, находится над ним и прижимается к нему торцевой поверхностью (шероховатость $Ra = 3,2$) за счет действия устройства, обеспечива-

ющего необходимую силу нагружения экспериментального участка. Удельная нагрузка на контактную пару трения варьировалась: 6, 12 и 23 кг/см². Скорость перемещения образцов контактной пары трения 0,01 м/с

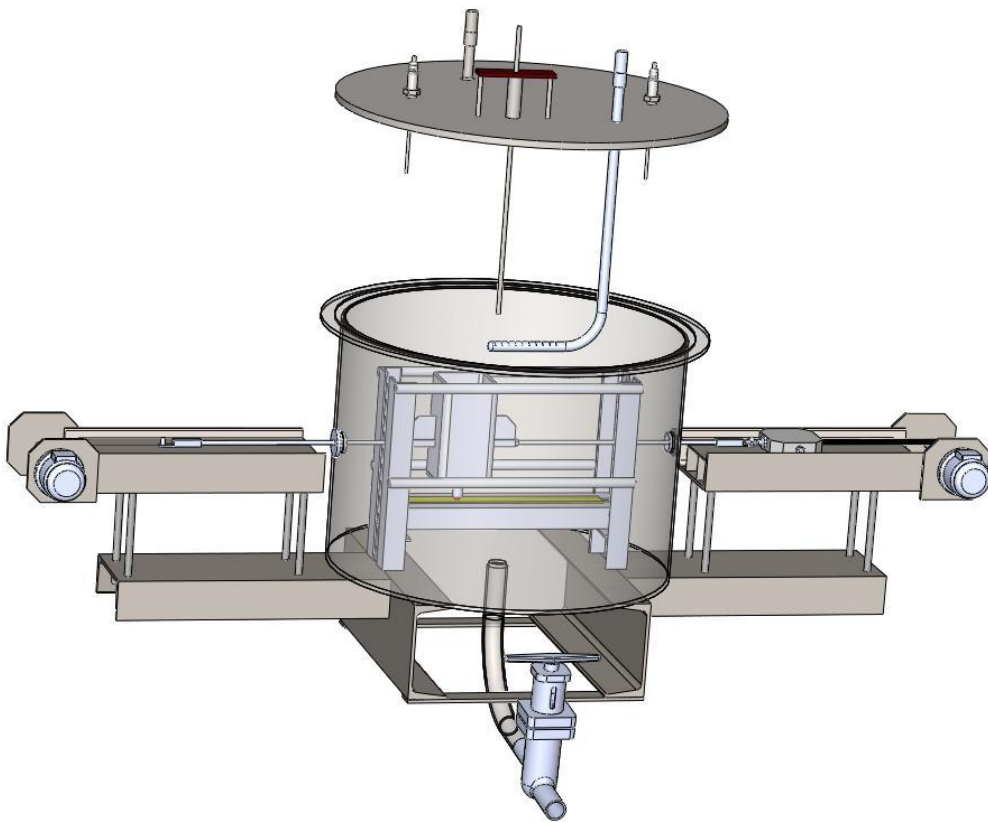


Рис. 8. Модель экспериментального участка высокотемпературного стенда ТР-2012НГТУ

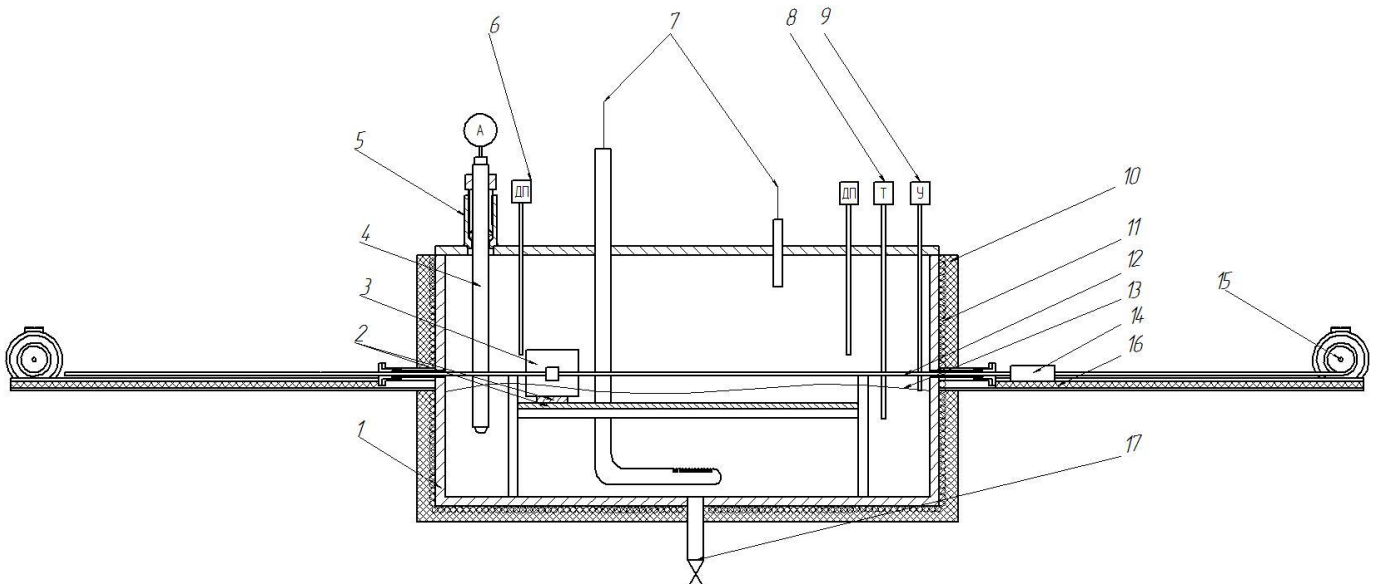


Рис. 9. Схема экспериментального участка высокотемпературного стенда ТР-2012НГТУ:

1 – рабочая емкость; 2 – контактная пара трения; 3 – устройство нагружения; 4 – ДАК; 5 – узел уплотнения ДАК; 6 – электроконтактный датчик положения контактной пары; 7 – трубки подвода и отвода газа; 8 – погружной термопреобразователь; 9 – электроконтактный датчик уровня расплава ТЖМТ; 10 – теплоизоляция; 11 – спираль электрообогрева; 12 – стержень для перемещения контактной пары; 13 – уровень расплава свинца; 14 – тензометрический датчик динамометра ДДУ-3И; 15 – двигатель; 16 – направляющие; 17 – дренаж в плавильный бак

Возвратно-поступательное движение образца №2 относительно образца №1 осуществляется посредством работы двух двигателей, обеспечивающих необходимое тяговое усилие в системе из металлических стержней и датчика динамометра ДОУ-3И. Контактная пара трения погружена в свинцовый теплоноситель.

Режимы испытаний

Программа испытаний включала в себя следующее:

- определение силы трения, вносимой конструктивными элементами стенда. Режим «холостой ход». Исследование проводилось без образцов при постоянной скорости перемещения тросов 0,01 м/с, определялась сила тяги, эквивалентная силе трения, вносимой конструктивными элементами стенда при проведении испытаний с контактной парой трения;
- определение коэффициента трения образцов из стали 12X18H10T в состоянии поставки при температуре 500°С в среде свинцового теплоносителя при постоянной скорости перемещения образцов 0,01 м/с, постоянной термодинамической активности O_2 : 10^0 и переменной нагрузке (силе прижатия) удельных давлений: 6, 12 и 23 кг/см²;
- определение коэффициента трения запассивированных в расплаве свинца образцов из стали 12X18H10T при температуре 500°С в среде свинцового (свинец-висмутного) теплоносителя при постоянной скорости перемещения образцов 0,01 м/с, постоянной термодинамической активности O_2 : 10^0 и переменной нагрузке (силе прижатия) - удельных давлений: 6, 12 и 23 кг/см². Время пассивации образцов 24 ч, условия пассивации - температура расплава свинца 480°С, термодинамическая активность O_2 : 10^0 ;
- обобщение и анализ полученных результатов.

Обсуждение результатов исследования

Результаты испытаний в среде свинца со сформированным и несформированным оксидным покрытием на поверхностях контакта. Удельная нагрузка - 6, 12 и 23 кг/см².

Условия проведения испытаний: рабочая среда - свинец; температура - 500°С; материал контактной пары - аустенитная сталь 12X18H10; состояние контактных поверхностей пары - материал в состоянии поставки Ra = 3,2, поверхности контакта оксидированы и неоксидированы защитной пленкой (PbO); скорость относительного перемещения образцов - 0,01 м/с.

а) На рис. 10 представлены результаты проведенных исследований, полученные в ходе экспериментального исследования при удельной нагрузке на контактную пару трения 6 кг/см².

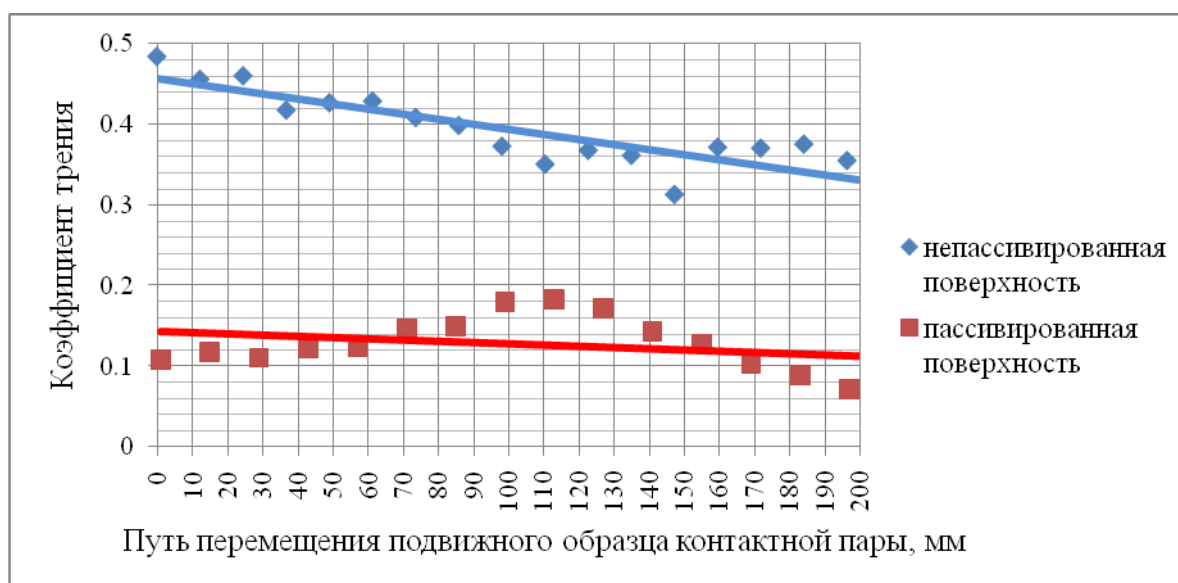


Рис. 10. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары при удельной нагрузке 6 кг/см²

б) На рис. 11 представлены результаты проведенных исследований, полученные в ходе экспериментального исследования при удельной нагрузке на контактную пару трения 12 кг/см^2 .

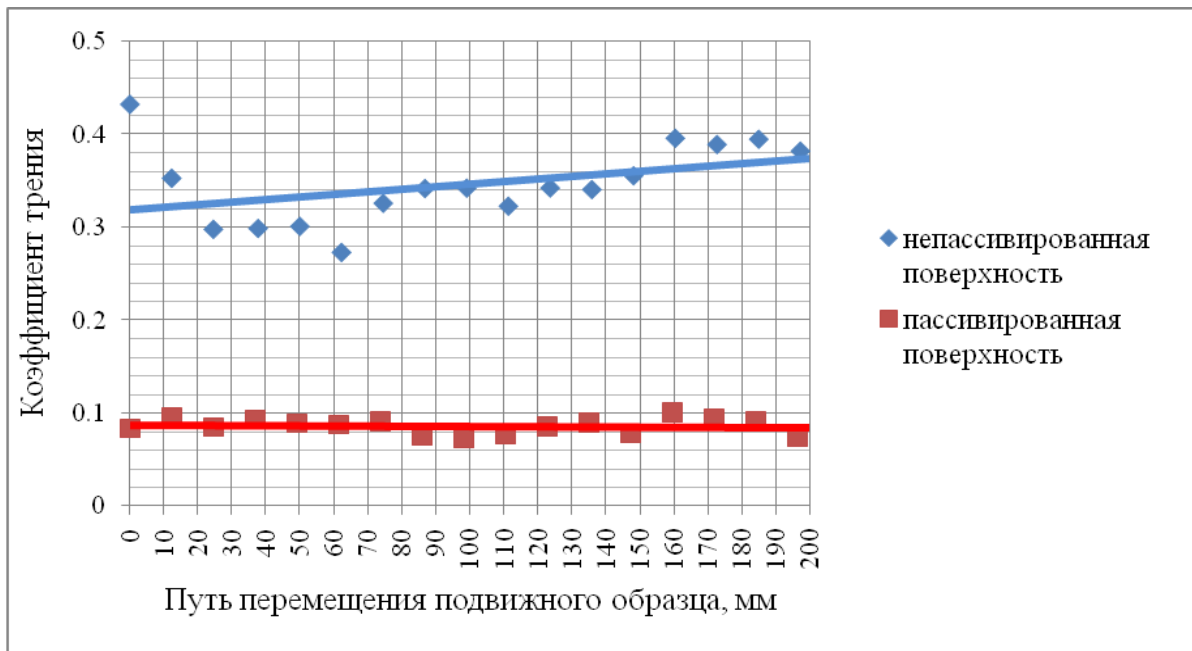


Рис. 11. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары при удельной нагрузке 12 кг/см^2

б) На рис. 12 представлены результаты проведенных исследований, полученные в ходе экспериментального исследования при удельной нагрузке на контактную пару трения 23 кг/см^2 .

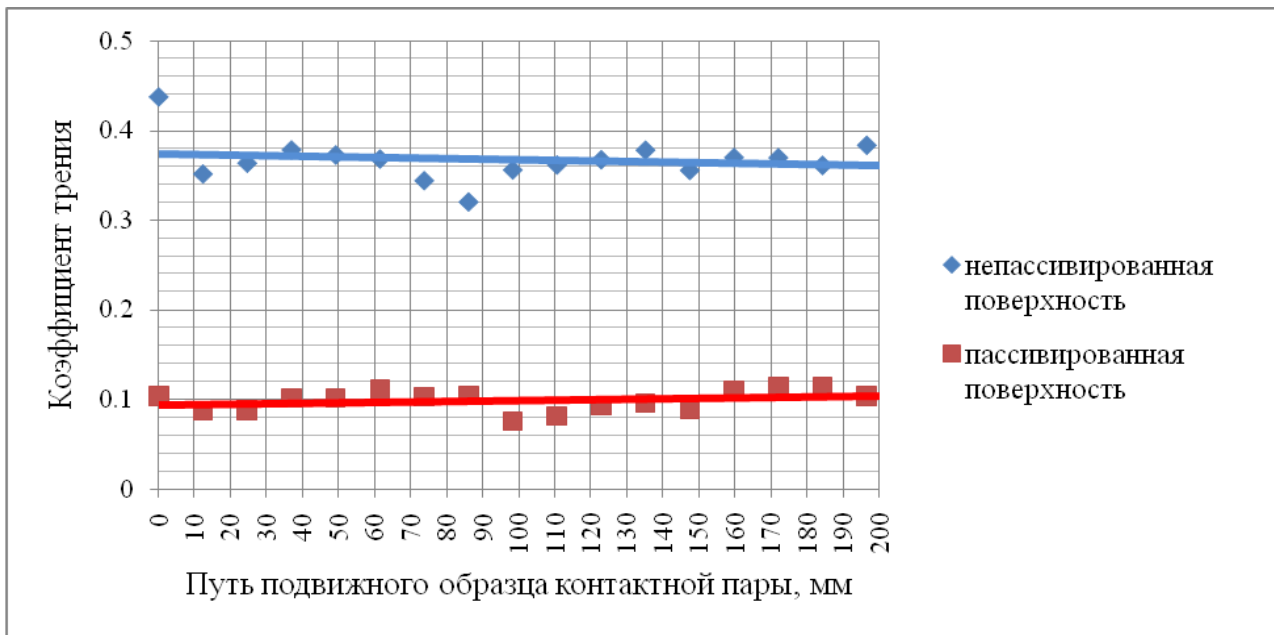


Рис. 12. Зависимость коэффициента трения по пути перемещения подвижного образца контактной пары при удельной нагрузке 23 кг/см^2

На рис. 13 и рис. 14 приведены примеры профилограмм поверхностей контактных

пар, выполненных из стали аустенитного класса 12X18Н10Т, после экспериментальных исследований при удельной нагрузке 12 кг/см^2 .



Рис. 13. Профилограмма поверхности контактной пары без сформированного оксидного покрытия после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^\circ\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельной нагрузке 12 кг/см^2 , шероховатости поверхности $Ra = 3,5$



Рис. 14. Профилограмма поверхности контактной пары со сформированным оксидным покрытием после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^\circ\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельной нагрузке 12 кг/см^2 , шероховатости поверхности $Ra = 1,8$ (x400)

На рис. 15 изображено фото шлифа образца со сформированным оксидным покрытием после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^\circ\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельная нагрузка 12 кг/см^2 . На данном фото четко видны сталь, слой рыхлых отложений, пропитанных свинцом, и между ними слой сформированной оксидной пленки.

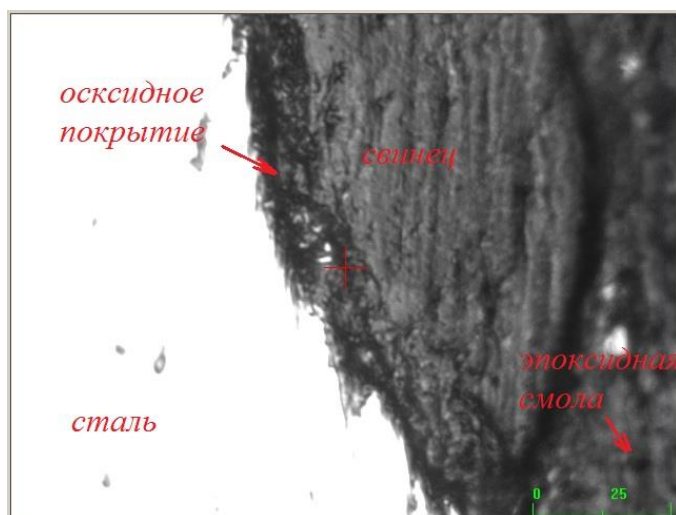


Рис. 17. Фото шлифа образца со сформированным оксидным покрытием после экспериментального исследования в расплаве свинца при $T = 500^\circ\text{C}$, термодинамической активности кислорода 10^0 , удельной нагрузке 23 кг/см^2 ($\times 400$)

Выводы

1. Впервые произведено определение триботехнической характеристики - коэффициента трения и его изменения в высокотемпературном свинцовом теплоносителе при $T = 500\text{-}550^\circ\text{C}$, удельных нагрузках от $0,5$ до 23 кг/см^2 и скорости относительного перемещения образцов $0,005$ и $0,01 \text{ м/с}$ при контролируемой и фиксируемой термодинамической активности кислорода в теплоносителе ($a \approx 1$).

2. Полученные экспериментальные данные показывают, что наличие сформированных оксидных покрытий на поверхностях контактной пары снижает коэффициент трения по сравнению с аналогичной характеристикой при отсутствии оксидных покрытий.

3. Результаты проведенных экспериментов показывают следующие зависимости триботехнической характеристики: коэффициента трения запассивированных и незапассивированных образцов из стали 12X18H10T в среде свинцового теплоносителя при т/а O_2 в свинце $a = 10^0$, $T = 500\text{-}550^\circ\text{C}$:

- ◆ при удельном давлении прижатия образцов $p = 0,5 - 2,5 \text{ кг/см}^2$ и средней скорости перемещения образцов $V = 0,005 \text{ м/с}$:
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями с коэффициентом трения $\kappa = 0,8\text{-}0,3$ он монотонно убывает при взаимном перемещении образцов;
 - для образцов без оксидных покрытий с коэффициентом трения $\kappa = 0,3\text{-}0,8$ он монотонно возрастает при взаимном перемещении образцов;
- ◆ при удельном давлении прижатия образцов $p = 6 \text{ кг/см}^2$ и средней скорости перемещения образцов $V = 0,01 \text{ м/с}$:
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями с коэффициентом трения $\kappa = 0,12\text{-}0,1$. Данный диапазон значений характерен для всего экспериментального участка;
 - для образцов без оксидных покрытий с коэффициентом трения $\kappa = 0,45\text{-}0,32$ он монотонно убывает при взаимном перемещении образцов;
- ◆ при удельном давлении прижатия образцов $p = 12 \text{ кг/см}^2$ и средней скорости перемещения образцов $V = 0,01 \text{ м/с}$:
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями с коэффициентом трения $\kappa = 0,1$ данное значение характерно для всего экспериментального участка;
 - для образцов без оксидных покрытий с коэффициентом трения $\kappa = 0,32\text{-}0,38$ он монотонно возрастает при взаимном перемещении образцов;

- ◆ при удельном давлении прижатия образцов $p = 23 \text{ кг/см}^2$ и средней скорости перемещения образцов $V = 0,01 \text{ м/с}$:
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями с коэффициентом трения $\kappa = 0,08$ данное значение характерно для всего экспериментального участка;
 - для образцов без оксидных покрытий с коэффициентом трения $\kappa = 0,38-0,36$ он монотонно убывает при взаимном перемещении образцов.

4. Сравнение профилограмм контактных поверхностей образцов из стали 12X18H10T со сформированными покрытиями и без них до и после испытаний в свинцовом теплоносителе при указанных выше условиях показывает следующее:

- ◆ при удельной нагрузке от 1 до $2,5 \text{ кг/см}^2$:
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями изменение среднего арифметического отклонения профиля Ra составило 0,25 (образец до экспериментального исследования) до 0,56;
 - для образцов без оксидных покрытий изменение среднего арифметического отклонения профиля Ra составило 0,25 (образец до экспериментального исследования) до 0,71;
- ◆ при удельной нагрузке 12 кг/см^2 :
 - для образцов со сформированными оксидными покрытиями изменение среднего арифметического отклонения профиля Ra составило 0,25 (образец до экспериментального исследования) до 1,8;
 - для образцов без оксидных покрытий изменение среднего арифметического отклонения профиля Ra составило 0,25 (образец до экспериментального исследования) до 3,5.

5. Сравнение фотографий шлифов контактных поверхностей образцов из стали 12X18H10T со сформированными покрытиями и без них до и после испытаний в свинцовом теплоносителе при указанных условиях показывает следующее:

- для образцов со сформированными оксидными покрытиями поверхность получила незначительные изменения: высоты и впадины профиля до 10 мкм. На фото шлифа четко видны сталь, слой сформированной защитной оксидной пленки, слой рыхлых отложений, пропитанных свинцом.
- для образцов без оксидного покрытия на поверхности большие изменения: высоты и впадины профиля до 20 мкм.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что в среде тяжелых жидкометаллических теплоносителей инновационных реакторных установок пары трения характеризуются новыми, неизвестными ранее свойствами:

- интенсивным теплоотводом от места контактного трения оксидированных поверхностей конструкционных материалов;
- исключением непосредственного контакта твердых поверхностей (стали, чугуна) контактных пар в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей вследствие формирования на них специфичных оксидных покрытий;
- существенным уменьшением коэффициента трения контактных пар в среде высокотемпературных свинцового и свинец-висмутового теплоносителя, что способствует увеличению ресурса работы контактных пар в рассматриваемых условиях.

Работа проводилась при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0322.

Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Оборудование, компоновка и режимы эксплуатации контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике / А.В. Безносков, Т.А. Бокова. – Н. Новгород, НГТУ им. П.Е. Алексеева, 2011.

2. Экспериментальные исследования характеристик пристенной области ТЖМТ – конструкционный материал методом «экспресс замораживания»: отчет по НИР (инициативный) / НГТУ; рук. Безносков А.В.; исп. Махов К.А. [и др.]. – Н. Новгород, 2012.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

Yu. N. Drozdov, A.V. Beznosov, T.A. Bokova, A.I. Shumilkov, K.A. Strides, A.S. Blackie

**EXPERIMENTAL STUDY OF PERFORMANCE FRICTION IN LONGITUDINAL
BACK-AND-FORTH MOVEMENT OF THE SAMPLE A MEDIUM
LIQUID HEAVY METAL**

Institute of mechanical engineering n.a. A.A. Blagonravova of the Russian Academy of Sciences,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The paper presents the results of experimental studies on the tribological characteristics of friction in the environment of high temperature lead coolant in a longitudinal reciprocating movement of specimens made of austenitic steel 12X18H10T. The purpose of the pilot study was to obtain the dependence of the coefficient of friction effects on the applied load the contact pair of oxidized and non-acidic samples of steel 12X18H10T.

Design/methodology/approach: Investigations were carried out on two high stands on similar techniques. Parameters Booth lead melt temperature - 500°C, the active oxygen content at saturation line lead, the state pairs of contact surfaces - the material as supplied and formed on surfaces of samples of oxide coatings, a specific load - from 0.5 to 23 kg/cm² speed specimens relative movement 0.005-0.01 m/s.

Research limitations/implications: First made the definition of the tribological characteristics - the coefficient of friction and changes in the melt lead, showed that the presence of oxide coatings formed on the surfaces of the contact pair reduces the coefficient of friction compared with the same characteristics in the absence of oxide coatings. After conducting research, materials research carried profilograms contact surfaces of specimens of steel 12X18H10T with formed coatings and without them before and after the test in lead coolant under the above conditions. Micrographs were made samples from the contact surfaces are formed 12X18H10T with or without coatings before and after the test lead coolant at the above conditions. The results of these studies are important for the reactor circuits NPPs with the BREST and MTBF with lead and lead-bismuth coolant.

Originality/value: The research results suggest that in an environment of heavy liquid metal reactor plants innovative friction pairs are characterized by new, previously unknown properties:

- Intense heat removal from the place of contact friction oxidized surfaces of construction materials;
- Except for the direct contact of solid surfaces (steel, cast iron) contact pairs in the environment lead and lead-bismuth coolant due to the formation of these specific oxide coatings;
- A significant reduction in the coefficient of friction of contact pairs in an environment of high-lead and lead-bismuth coolant, thus increasing the service life of the contact pairs in these conditions

Key words tribological, high temperature lead coolant, reactor plants, samples of steel, the coefficient of friction, contact surfaces.

УДК 621.37.029.6

В.В. Бирюков, В.А. Грачев, Г.С. Малышев, А.С. Раевский, В.В. Щербаков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ ПЛАНАРНЫХ ЩЕЛЕВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования щелевых антенных решеток (ЩАР) конечных размеров. Приведены основные характеристики ЩАР, результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных. Даны рекомендации по созданию ЩАР с требуемыми характеристиками.

Ключевые слова: щелевая антенна, щелевая антенная решетка, диаграмма направленности, поляризация, коэффициент кросс-поляризации.

Введение

В последнее время большие усилия астрофизиков направлены на исследование свойств реликтового космического излучения, несущего в себе информацию о процессах, происходивших на самых ранних стадиях возникновения Вселенной. Наибольший интерес представляют степень изотропности и поляризации этого излучения в терагерцовом диапазоне частот [1].

Для приема столь малоинтенсивного излучения необходимы антенные решетки, состоящие из большого числа элементов, обладающих достаточно хорошей поляризационной селективностью. Примером таких антенн являются щелевые решетки. Важными их преимуществами является широкая полоса рабочих частот и малый коэффициент кросс-поляризации. Следует отметить, что в данном случае под антенной решеткой понимается просто массив одинаковых приемных элементов, отклики которых складываются.

Изготовление таких антенных систем и их экспериментальное исследование непосредственно в терагерцовом диапазоне частот является весьма сложной технологической и технической задачей, поэтому на первом этапе целесообразно отработать конструкцию такой антенной решетки в СВЧ диапазоне. Затем, пользуясь принципом электродинамического подобия, результаты можно перенести и в более высокочастотный диапазон.

Результаты исследований

В качестве элемента антенной решетки можно взять одну из комбинаций взаимно перпендикулярных щелей, показанных на рис. 1 цифрами 1-3. В этом случае каждый элемент антенной решетки позволяет определять поляризацию принимаемого излучения. Однако в ходе экспериментальных исследований было установлено, что наилучшим подавлением волны паразитной поляризации обладают антенны в виде одиночной щели. Более того, коэффициент кросс-поляризации данных антенн меньше зависит от точности изготовления, чем коэффициенты кросс-поляризации антенн 2 и 3, что особенно важно при последующем переходе в терагерцовый диапазон. Поэтому в дальнейших исследованиях в качестве приемного элемента щелевой антенной решетки использовалась одиночная щель 4 (рис. 1).

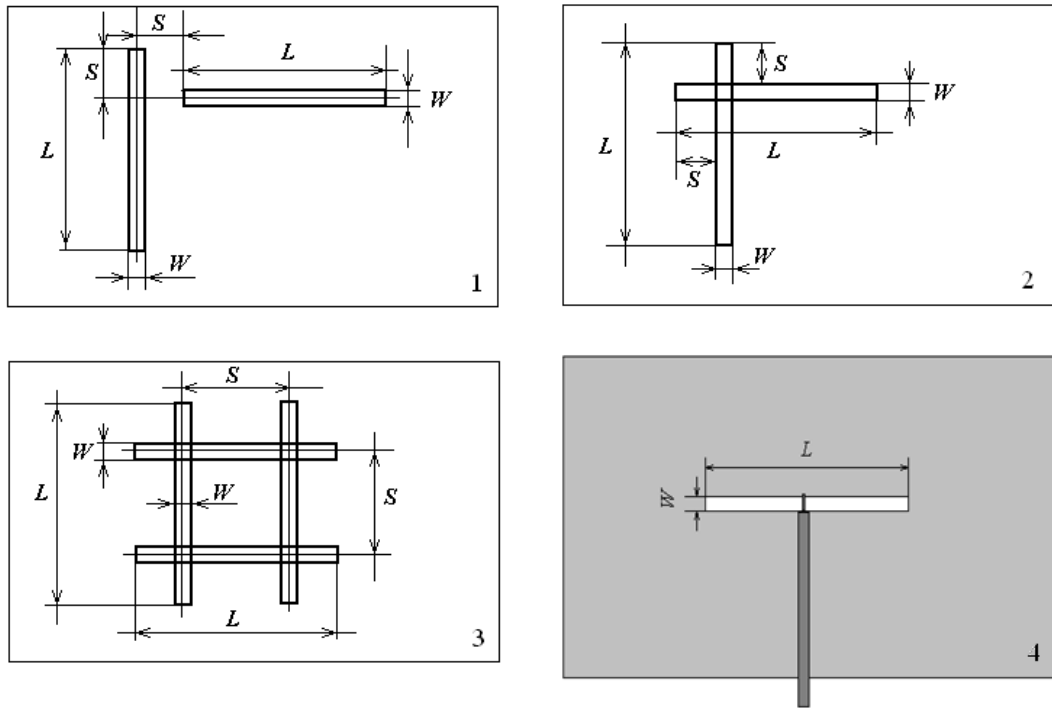


Рис. 1. Щелевые антенны различной конфигурации

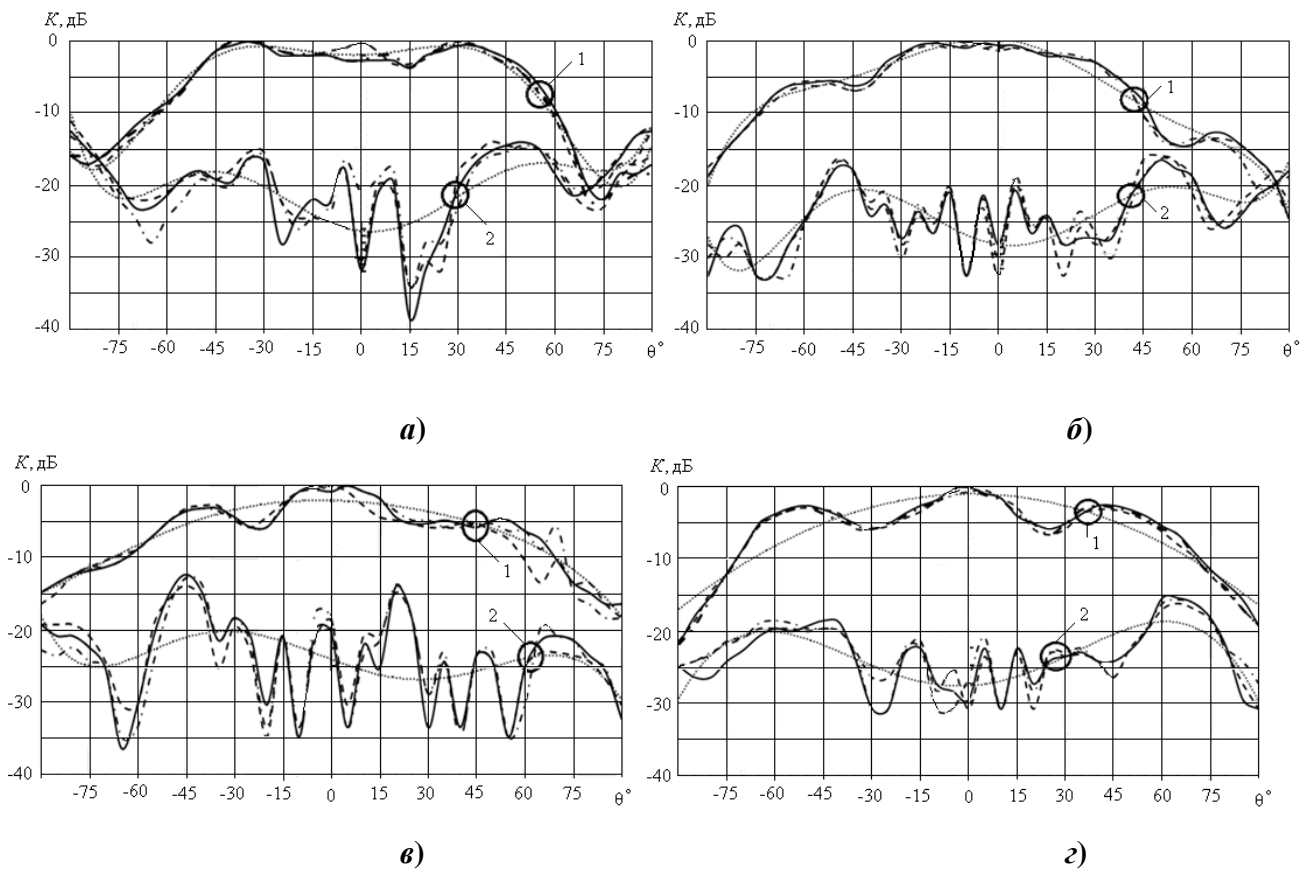


Рис. 2. Диаграмма направленности одиночной щелевой антенны при трех положениях приемной антенны относительно облучателя:

— — расстояние между антеннами $l = 390$ мм; - - - - - $l = 395$ мм; - · - · - $l = 440$ мм,
 ····· — аппроксимация полиномом n -й степени;

a – на частоте 15 ГГц с открытыми торцами; *б* – на частоте 18 ГГц с открытыми торцами; *в* – на частоте 18 ГГц с металлизированными торцами; *г* – на частоте 18 ГГц с торцами, покрытыми поглощающим материалом

Отдельная щелевая антенна представляет собой одиночную щель, прорезанную в металлизации одностороннего фольгированного диэлектрика. Экспериментально исследовались антенны на подложке из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм размером 115×85 мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5$. Длина щели $L = 8$ мм, ширина щели $W = 0,5$ мм. Антенна облучалась линейно поляризованным излучением открытого конца прямоугольного волновода [2]. Для эксперимента использовалась установка для антенных измерений с квазибездыховой зоной в месте расположения исследуемой антенны [3]. Съём сигнала осуществлялся коаксиальным кабелем, проводники которого присоединялись по разные стороны щели. Результаты измерений диаграммы направленности приведены на рис. 2.

Из рис. 2 *a, б* видно, что коэффициент кросс-поляризации в пределах угла $\Delta\theta = \pm 10^\circ$ составляет 24 дБ. Данные результаты получены, когда торцы подложки открыты. Аналогичные зависимости для случаев, с торцами подложки, металлизированными и покрытыми поглощающим материалом, приведены на рис. 2 *в, г*. Как видно из приведенных зависимостей, применение поглощающего материала позволяет несколько снизить коэффициент кросс-поляризации за счет подавления поверхностной волны в подложке.

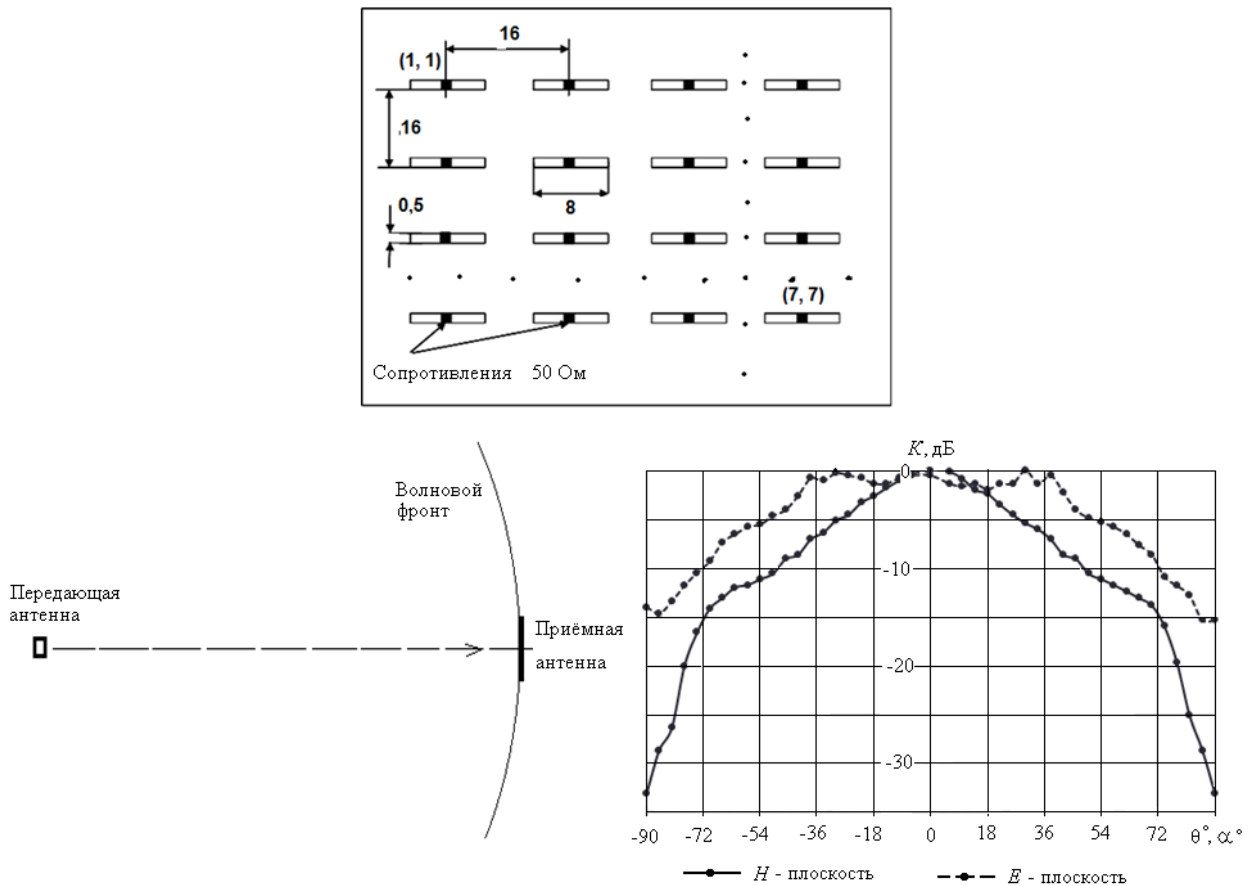


Рис. 3. Исследуемая щелевая антенная решётка:

a – эскиз макета ЩАР; *б* – взаимное расположение передающей и приемной (исследуемой) антенн; *в* – диаграммы направленности ЩАР в *H*- и *E*-плоскостях

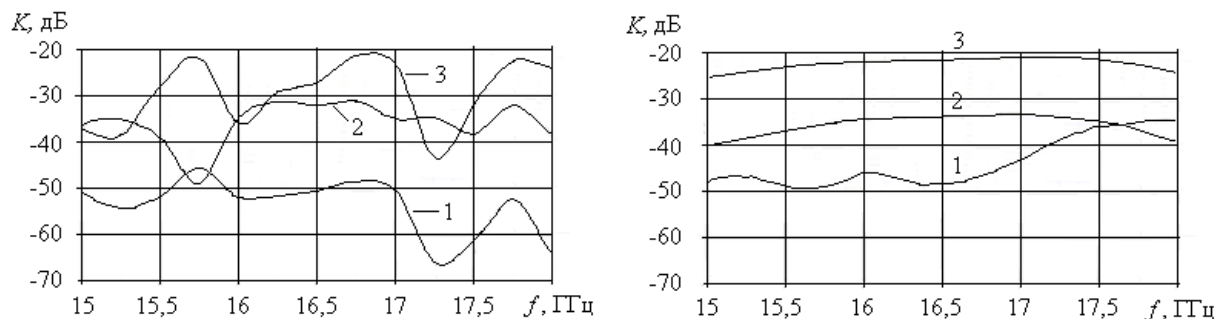
Уровень сигнала космического излучения терагерцового диапазона, принимаемого приемным устройством, очень мал, поэтому для повышения чувствительности складываются отклики отдельных элементов, объединенных в антенные массивы – щелевые антенные ре-

шетки (ЩАР). В связи с этим необходимо исследовать влияние массива элементов ЩАР на поляризационные характеристики отдельного ее элемента. Экспериментальное исследование проводилось на макете антенного массива, состоящего из 49 элементов (щелей), приведенного на рис. 4, а. Взаимное расположение приемной и передающей антенн задавалось таким образом (рис. 4, б), чтобы в пределах поверхности приемной антенны фронт падающего излучения можно было считать плоским.

В случае ЩАР, состоящих из близкорасположенных щелей, имеет место эффект взаимного влияния излучателей друг на друга. При наличии подложки данное влияние существенно возрастает.

Одним из способов количественной оценки этого эффекта является определение коэффициента передачи между элементами, расположенными в разных участках массива:

$$K = 10 \lg \frac{P_{jk}^{np}}{P_{mn}^{изл}},$$



где $P_{mn}^{изл}$ - мощность излучения, идущего от элемента массива с индексами (m,n) ; P_{jk}^{np} - мощность излучения, принятого элементом с индексами (j,k) . Результаты измерений данного коэффициента приведены на рис. 4, а.

а)

б)

Рис. 4. Исследование взаимной связи между элементами массива:

1 – между (1,1) и (1,7); 2 – между (1,1) и (7,7); 3 – между (1,1) и (7,1);

а – экспериментальные данные; б – результаты численного моделирования

Теоретический анализ решеток конечных размеров является сложной электродинамической задачей, поэтому для расчета аналогичных характеристик использовался САПР Ansoft HFSS. Путём моделирования в данном пакете были получены частотные зависимости коэффициентов передачи между щелями, представленные на рис. 4, б. Результаты численного моделирования и эксперимента хорошо согласуются.

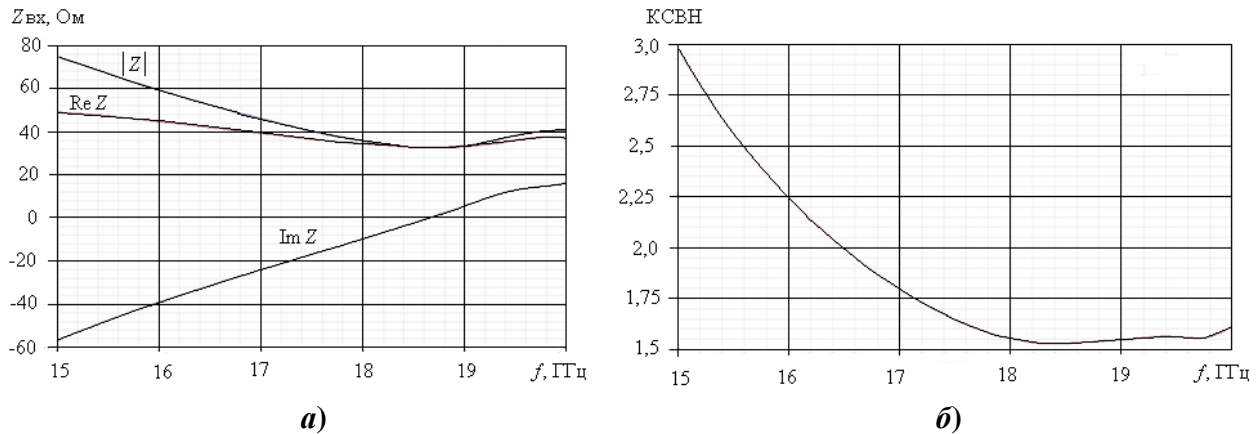


Рис. 5. Волновые характеристики центрального элемента ЩАР:

a – входное сопротивление; *б* – коэффициент стоячей волны напряжения

Также с использованием программы HFSS была рассчитана частотная зависимость входного сопротивления и КСВН центрального элемента антенной решетки. Полученные зависимости представлены на рис. 5. Видно, что данный элемент обладает хорошим согласованием в достаточно широком диапазоне частот.

Другим способом оценки влияния конечности размеров массива на приемные характеристики отдельных его элементов, а также взаимного влияния элементов друг на друга является определение диаграмм направленности (ДН) и уровня кросс-поляризации элементов, расположенных в разных местах массива.

Было проведено несколько серий измерений ДН и уровня подавления излучения паразитной поляризации. При этом сигнал снимался только с одной щели, в то время как все остальные щели нагружались на согласованные нагрузки. Для оценки влияния поверхностных волн подложки (разница в диэлектрических проницаемостях окружающего пространства и диэлектрика существенна) на ее торцах реализовывались различные граничные условия:

- торцы металлизировались, при этом в подложке возникала стоячая волна, экспериментально это проявлялось в увеличении уровня излучения в параллельном плоскости расположения массива направлении, искажении ДН центральных элементов массива и ухудшении подавления волн с ортогональной поляризацией;
- торцы подложки оставались открытыми (нагруженными на окружающее пространство);
- торцы покрывались радиопоглощающим материалом, при этом в подложке осуществлялся режим бегущей волны (рис. 6). Создание режима бегущей волны вдоль подложки позволило усреднить влияние подложечных волн на характеристики элементов массива. При этом в среднем достигается наилучшая развязка по поляризации.

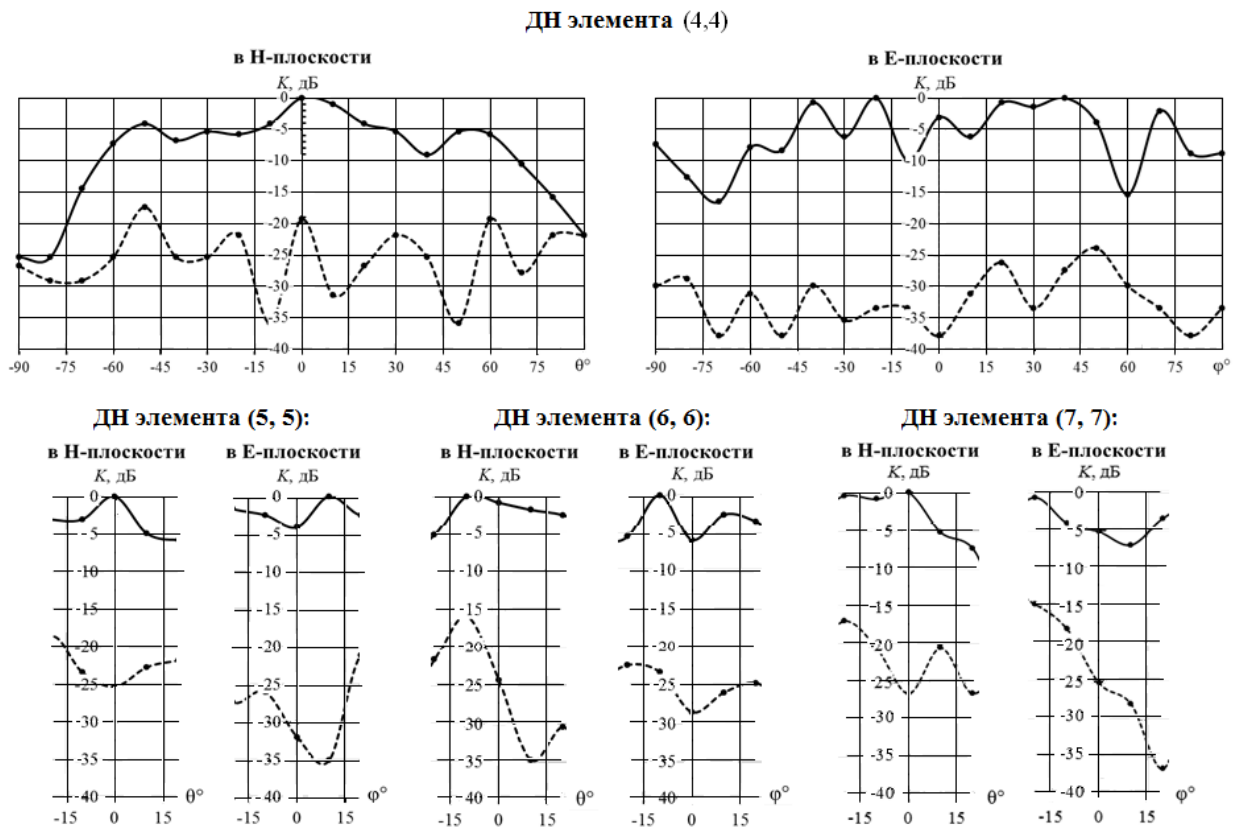


Рис. 6. Диаграммы направленности диагональных элементов массива для волн основной и паразитной поляризации

Наилучшим подавлением волны паразитной поляризации обладают элементы, расположенные в центре массива и близкие к ним. Для них значения развязки по поляризации сопоставимы с показателями для одиночной щели. Эти элементы обладают также симметричной ДН.

Краевые элементы массива имеют меньшие значения коэффициента кросс-поляризации и несимметричную ДН, что может быть объяснено несимметричным окружением элементов и неполным поглощением энергии бегущих подложечных мод поглотителем. Нежелательное излучение в направлении, параллельном плоскости расположения массива, минимально.

Таким образом, объединение щелевых антенн в массив позволяет повысить чувствительность антенной системы при сохранении достаточно высоких поляризационных свойств в широком диапазоне рабочих частот. Однако для получения требуемых характеристик необходимо:

- свести к минимуму влияние подложечных волн обеспечением определенных условий на торцах подложки и выбором оптимальной её толщины и диэлектрической проницаемости;
- использовать для получения полезного сигнала лишь центральную область ЩАР, нагружая периферийные элементы на эквиваленты нагрузок.

Выводы

В статье представлены результаты экспериментального исследования и численного моделирования массива щелевых антенн в СВЧ диапазоне. Результаты расчета основных характеристик массива щелевых антенн хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Библиографический список

1. **Kuzmin, L.** A Parallel/Series Array of Cold-Electron Bolometers with SIN Tunnel Junctions for Cosmology Experiments/ L. Kuzmin // IEEE/CSC & EUROPEAN SUPERCONDUCTIVITY NEWS FORUM, 2008. №. 3. P. 1–9.
2. **Белов, Ю.И.** Экспериментальное исследование излучающих свойств открытого конца волновода прямоугольного сечения вблизи проводящих объектов / Ю.И. Белов, Е.Л. Варенцов, И.А. Илларионов // Антенны. 2009. Вып. 12(151). С. 18–27.
3. Исследование электромагнитной обстановки в лаборатории микроволновой электродинамики НГТУ / В.В. Бирюков [и др.] // Труды НГТУ. 2012. № 3. С. 126–136.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

V. Biryukov, V. Grachev, G. Malyshev, A. Raevskii, V. Sherbakov

EXPERIMENTAL STUDY OF FINITE PLANAR SLOT ANTENNA ARRAYS

Nizhniy Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The study considered finite planar slot antenna arrays (SAA) of finite size as a receiver of extremely weak radiation. It is possible, for example, to register cosmic background radiation.

The study presented examples of measurements results: radiation patterns and cross-polarization factors of different SAA elements, coefficient of mutual communication between different SAA elements.

Moreover, the study presented results of SAA numerical simulation and comparison between the measurement and numerical simulation results.

The study offered recommendations for the creation of SAA with the desired characteristics, for example, it is necessary to provide determinant boundary conditions at the ends of the SAA substrate.

Key words: slot antenna, slot antennas array, radiation pattern, polarization, cross-polarization factor.

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

В.В. Беляков¹, А.М. Беляев⁵, М.Е. Бушуева¹, У.Ш. Вахидов¹,
К.О. Гончаров¹, Д.В. Зезюлин¹, В.Е. Колотилин², К.Я. Лелиовский¹,
В.С. Макаров¹, А.В. Папунин⁴, А.В. Тумасов², А.В. Федоренко¹

КОНЦЕПЦИЯ ПОДВИЖНОСТИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева¹,
Малое инновационное предприятие НГТУ ООО «ИнТех»²,
Малое инновационное предприятие НГТУ ООО НПФ «ДСТ»³,
ООО «Управляющая компания «группа ГАЗ»⁴,
ООО «Автол»⁵

Данная статья позиционируется как концептуальная парадигма, обуславливающая понятие подвижности мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов. Подвижность в контексте данной статьи определяет обобщенную характеристику конструкционных и эксплуатационных свойств наземных мобильных систем и комплексов. В совокупности с экономическими, эргономическими и экологическими показателями качества этих машин подвижность характеризует конкурентоспособность объектов как товара.

В работе подвижность рассматривается как совокупность группы задач: поддержания курсовой ориентации, скорости движения, живучести и устранения критических ситуаций (буксования и блокировки движителя, устойчивости по опрокидыванию и проходимости машины в целом).

Ключевые слова: подвижность, мобильность, живучесть, динамическая адаптивность, условия эксплуатации, проходимость.

Введение

Для эффективного проектирования, эксплуатации и маркетинга мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов необходима возможность точной оценки их качества как характеристики конструкционных технико-технологических параметров, функционально-оперативных эксплуатационно-потребительских свойств, т.е. возможность определения *подвижности*, как обобщающей характеристики данных объектов, и в более широком смысле – оценки *конкурентоспособности* этих машин.

Историческая справка рассматриваемого вопроса

Вопросы, связанные с *подвижностью* мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов, изначально рассматривались исключительно применительно к военной технике: танкам, бронетранспортерам, боевым машинам пехоты и десанта, самоходным артиллерийским установкам и мобильным инженерным машинам. В отечественной военной доктрине *подвижность* мобильной военной техники объединяет ряд важнейших ее показателей: быстротходность, маневренность, проходимость, плавучесть и за-

пас хода. Однако данное представление о подвижности имеет разрозненный (дифференцированный) характер, нежели объединяющий (интегральный).

Показатель подвижность в историческом развитии претерпел существенные изменения.

Первые исследования, по подвижности, начавшиеся с появлением мобильных боевых машин, относятся к 1900-м годам. Однако в тот период не делалось различия между понятиями *подвижность* и *проходимость* машин. Основные решения по повышению подвижности связывались с конструкционными решениями в области совершенствования двигателей боевой техники. Работая над повышением подвижности боевых машин, в начале XX века, конструкторы активно создавали новые типы двигателей, в частности, комбинированные (колесно-гусеничные).

После Первой мировой войны в ряде стран с целью повышения подвижности войск приняли на вооружение боевые машины (броневые автомобили и легкие танки) с комбинированным двигателем. Здесь уже просматривается отход от примитивного понятия *подвижности*, как только проходимости машин. В структуру понятия *подвижность* вводится показатель скорость движения на маршруте, что обуславливает появление в войсках большого числа боевых колесных машин.

В период между мировыми войнами большее внимание уделяется оперативной подвижности военной техники, нежели тактической или стратегической. В начале 1930-х гг. во всем мире проводились исследования проблем, связанных с повышением проходимости колесных машин. В результате всех многочисленных испытаний был сделан вывод о том, что к конструированию ходовой части боевых и транспортных армейских машин нужен свой подход, в котором главное внимание должно быть направлено на высокую проходимость, плавность хода и надежность. Утвердилось мнение, что военный автомобиль или боевая колесная машина, должны иметь привод на все оси (колеса) и независимую подвеску. Однако как такового понятия *подвижность* в этот период так и не было сформулировано, хотя базовые характеристики подвижности мобильность (проходимость) и надежность уже определились.

Эксплуатация мобильной военной техники в период Второй мировой войны подтвердила правильность выбранных направлений исследований, что главными параметрами военных машин являются проходимость и надежность. В связи с чем, основным видом мобильной боевой техники времен Второй мировой войны становятся гусеничные машины, в частности, танки.

В результате анализа опыта Второй мировой войны в США и в СССР был сделан вывод, что ни колесные, ни гусеничные машины не обеспечивали требуемую подвижность войск. Поэтому в условиях холодной войны в странах НАТО и Варшавского договора велись активные работы по повышению подвижности военных машин. В Советском Союзе эти работы координировала комиссия в АН СССР по проходимости колесных и гусеничных машин, возглавляемая Г.В. Зимелевым, а в США и странах блока НАТО эти работы концентрировались под руководством М.Г. Беккера в ряде организаций оборонного и космического ведомств.

В интернет-ресурсе [1] указывается, что в США в 60–80-х годах XX века при разработке тактико-технических требований, проектировании и планировании использования военных гусеничных и колесных машин предполагалось, что необходимо иметь следующие прогнозируемые данные:

- 1) возможность реализации заданных технических характеристик конкретной машины при движении ее в реальных условиях местности и окружающей среды заданного географического района;
- 2) характеристику подвижности машин различных конструкций на определенной местности;
- 3) влияние отдельных конструктивных изменений на подвижность машин.

Для решения этой задачи в 1971 г. командованием материального обеспечения сухопутных войск армии США (АМС) была разработана программа исследований, объединяю-

щая работы нескольких научно-исследовательских организаций - лаборатории подвижности научно-исследовательского центра по танкам и колесным машинам (USATAC), экспериментальной станции водных путей (WES), лаборатории исследования полярных районов (CRREL).

На первом этапе разработки этой программы было установлено, что для ответа на все вопросы, связанные с применением машин, необходима объективная методика количественной оценки характеристик подвижности машины при ее движении по заданной местности и в заданных условиях окружающей среды. Такая методика может быть разработана с помощью математической модели системы машина-водитель-местность, причем эта модель должна удовлетворять требованиям, выдвигаемым проектированием, выбором и применением конкретной машины.

Несмотря на то, что ряд частных задач, связанных с взаимодействием со слабыми грунтами, препятствиями, водными преградами, влиянием неровностей поверхности на систему машина-водитель, к 1971 г. был решен как теоретически, так и экспериментально, надежной общепринятой методики комплексной оценки поведения подвижной системы разработано не было.

Первая такая программа моделирования подвижности была разработана в 1973 г. и получила название АМС-71. С 1974 г. в эту программу введен ряд изменений с целью расширения возможностей модели.

Подвижность машины в значительной степени зависит от характера местности, по которой происходит движение. В середине 60-х годов прошлого столетия в качестве критерия подвижности единодушно была принята *скорость движения машины между двумя точками на заданной местности*, которая получила название *полезно-обеспеченной скорости*. Данная скорость равна отношению расстояния между двумя точками по прямой к полному времени движения от точки до точки, независимо от пройденного пути. Полезно-обеспеченная скорость является обобщенным понятием, характеризующим не только технические показатели машины, но и местность, и поставленную задачу. Например, если поверхность по своему характеру однородна и включает в себя только совокупность преодолимых неровностей и складок местности, то подвижность характеризуется максимальной скоростью машины по прямой, величина которой ограничена только этими препятствиями. В реальных условиях задача значительно усложняется в силу неоднородности характера местности, и максимальная скорость становится зависимой от особенностей местности, расположения конечной точки и выбранного пути.

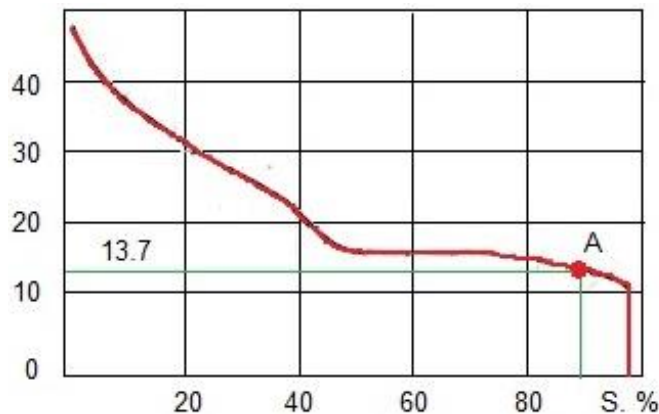
В модели АМС-71 реальный район местности разбивается на мозаику из отдельных участков (рис. 1, а), в пределах каждого из которых поверхность считается достаточно однородной, что позволяет в качестве показателя подвижности для такого участка использовать просто величину максимальной скорости движения по прямой. При этом тот факт, что размеры участка могут не позволить достичь прогнозируемого максимума скорости, во внимание не принимается. После завершения расчетов по всему району составляется карта (необязательно в картографической форме) максимальных скоростей, которые может развить машина в каждой точке рассматриваемой местности.

В это же время (60–80-е годы XX века) были созданы и полностью сформировались теории колебаний (автор Р.В. Ротенберг), поворота многоосных автомобилей (А.С. Литвинов), динамической нагруженности (А.К. Фрумкин), проходимости (Я.С. Агейкин), общая теория криволинейного движения колесных и гусеничных машин (Я.С. Фаробин), теория устойчивости движения (Д.А. Антонов), уточненная теория поворачиваемости с учетом бокового увода эластичных колес (Д.А. Антонов), теория бокового и тангенциального взаимодействия эластичных колес с опорной поверхностью (Д.А. Антонов), теория плавучести боевых колесных машин (А. П. Степанов). Все это позволило приступить к новому этапу исследований по созданию боевых машин особо высокой проходимости и живучести. Тем не менее, понятие *подвижность* так и не имело четко выраженной формулировки.

Вот один из примеров. В 1971 году в издательстве «Стройиздат» вышла книга И.П. Барсова и А.П. Станковского «Строительные машины и их эксплуатация», в которой указывается, что маневренность (подвижность) машины – это способность передвигаться и разворачиваться в стесненных условиях, а также перемещаться по строительному участку и вне его с достаточной по производственным условиям скоростью [2]. Авторы выделили два основных понятия подвижности маневренность и скорость движения, при этом подменили одно понятие другим.



а



б

Рис. 1. Представление подвижности в модели АМС-71:

а – карта подвижности для 2,5-т грузового автомобиля при движении в условиях бездорожья по местности площадью ~ 8 км², район территории ФРГ (Цифры обозначают округленные значения максимально развиваемой скорости, заштрихованные участки непроходимы);

б – кривая подвижности для 2,5-т грузового автомобиля при движении вне дорог по местности

Таким образом, на протяжении сравнительно короткой истории бронетанковой техники сухопутных войск, составляющей около ста лет, характер ведения боевых действий неоднократно менялся. Эти изменения имели кардинальный характер – от «позиционной» до «маневренной» войны и, далее, до локальных конфликтов и контртеррористических операций. Именно характер предполагаемых боевых действий является определяющим при формировании требований к военной технике. Соответственно менялось и ранжирование основных свойств боевых машин, но неизменным оставалось классическое сочетание «огневая мощь - защита - подвижность», которое также неоднократно обновлялось, дополнялось новыми компонентами. В последнее время к основным боевым свойствам относят и боевую готовность. Кроме того, в боевых условиях подавляющая часть времени эксплуатации боевых машин уходит на их рассредоточение и сосредоточение в заданных районах, переброску в другие районы ведения боевых действий, совершение марша. В данных условиях для успешного выполнения поставленных задач решающее значение имеет подвижность танков.

По данным работы [3], имеется ряд принципиально отличающихся определений подвижности и ее характеристик:

Источник 1 [4]. Подвижность рассматривается как боевое свойство, в соответствии с условиями движения делящееся на тактическую и оперативную. В дальнейшем даются определения тактической и оперативной подвижности: «*Тактическая подвижность* – способность танка перемещаться по местности и дорогам при ведении боя. *Оперативная подвиж-*

ность – способность танка совершать марш своим ходом или при перевозке на транспортных средствах. Подвижность танка определяется как техническими свойствами (быстроходностью, маневренностью, проходимостью, запасом хода и транспортабельностью), так и внешними условиями движения и квалификацией водителей. *Быстроходность* – свойство танка перемещаться с определенной скоростью в различных условиях. *Маневренность* – свойство танка изменять скорость и направление движения с определенной интенсивностью. *Проходимость* – способность танка преодолевать естественные и искусственные препятствия».

Источник 2 [5]. «Подвижностью называется способность танковых частей и подразделений к перемещению из одного района в другой. Она характеризуется скоростью перемещения на расстояние S . Поскольку танки не обладают абсолютной проходимостью и на пути движения им приходится обходить непреодолимые участки местности и препятствия, общий путь движения удлиняется и реально составляет S_p ($S_p > S$) (рис. 2). Общее время T , затраченное на перемещение танка (подразделения, части) из пункта **A** в пункт **B**, складывается из времени чистого движения t_d , времени на обслуживание и заправку t_3 , времени на ремонт и устранение неисправностей t_p [4]. Отсюда подвижность будет равна

$$\Pi = ST^{-1} = S(t_3 + t_d + t_p)^{-1} = \left[S_p t_d^{-1} \right] \left[S S_p^{-1} \right] \left[1 + \frac{t_3 + t_p}{t_d} \right]^{-1}. \quad (1)$$

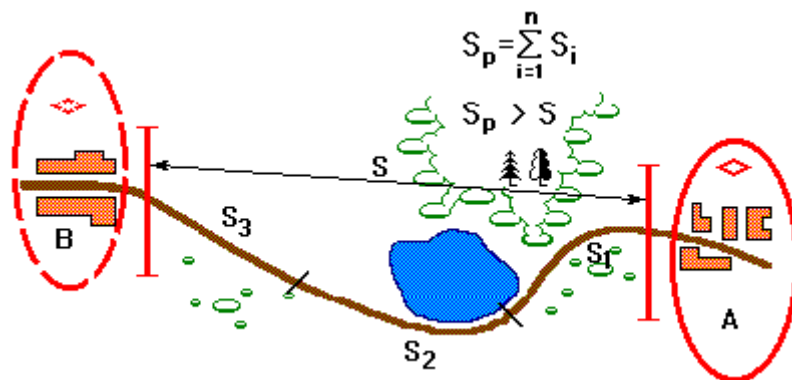


Рис. 2. Схема маршрута движения

В полученном выражении отношение S_p/t_d представляет собой фактическую среднюю скорость движения танка $v_{ср}$. Отношение S/S_p характеризует проходимость танка, и чем ближе оно к единице, тем выше проходимость. В настоящее время принято различать тактическую, оперативно-тактическую и стратегическую подвижность.

На *тактическую подвижность*, т.е. подвижность танка на поле боя, влияют его быстроходность и проходимость. Заправки танка на бой хватает, а надежность современных танков такова, что их выход из строя по техническим причинам незначителен. Поэтому при определении тактической подвижности можно принять $t_3 = 0$; $t_p = 0$.

При оценке *оперативно-тактической подвижности*, т.е. подвижности при ведении армейских и фронтовых операций, необходимо учитывать время на устранение технических неисправностей t_p и время на обслуживание t_3 . Здесь уже в меньшей степени начинает сказываться проходимость машин, так как имеется некоторая возможность оборудования маршрутов движения танков.

Стратегическая подвижность проявляется в стратегических операциях при перемещении танков на большие расстояния по заранее оборудованным, как правило, маршрутам. Здесь проходимость танков не играет существенной роли, но проявляется необходимость в дозаправках топливом, а при недостаточной надежности – ремонте. Назовем сумму времени t_3 и t_p временем обеспечения движения $t_{о.д.}$, а отношение S/S_p , которым учитывается увеличение длины пути из-за наличия на маршруте непроходимых участков местности, коэффициентом проходимости $k_{пр}$. Тогда выражение (1) будет иметь вид

$$\Pi = k_{\text{пр}} v_{\text{ср}} \left[1 + \frac{t_{\text{о.д}}}{t_{\text{д}}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Источник 3. [6]. *Подвижность ВГМ* – совокупность свойств ВГМ, характеризующих способность ее самопередвижения в заданных условиях. Это такие частные свойства, как автономность передвижения, проходимость и быстроходность...

Быстроходность – свойство ВГМ, характеризующее скорость преодоления ею определенного расстояния в заданных условиях при максимальном использовании технических возможностей. Быстроходность включает динамичность, плавность хода и управляемость.

Проходимость – свойство ВГМ, характеризующее ее способность преодолевать труднопроходимые участки местности и различные препятствия. Свойствами проходимости являются: опорная проходимость, габаритная проходимость и преодолеваемость водных преград.

Автономность действия – свойство ВГМ, характеризующее ее способность к использованию штатным экипажем по функциональному предназначению с заданными показателями, без пополнения штатных запасов материалов и имущества и без проведения операций по обслуживанию с использованием дополнительных сил и средств. Автономность действия характеризуется запасом хода по топливу и маслу».

Автор работы [3] пишет: «В соответствии с определениями свойств и их характеристиками определенными в проекте ГОСТ можно составить схему свойств подвижности и их характеристик (рис. 3)».

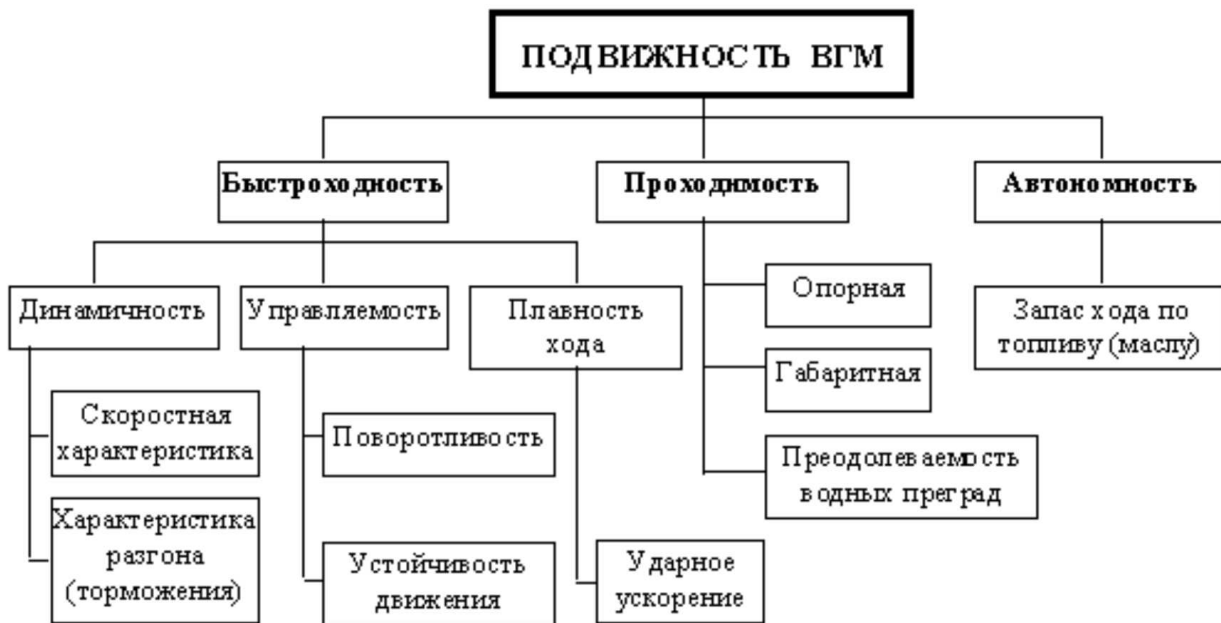


Рис. 3. Подвижность ВГМ и ее свойства

В результате анализа приведенных определений и характеристик подвижности и ее свойств примем следующее определение.

Подвижность это совокупность свойств ВГМ, характеризующих ее способность к самопередвижению в заданных условиях или пригодность к перевозке транспортными средствами. Показателем подвижности Π является средняя скорость, полученная при делении расстояния по прямой S , на которое переместилась ВГМ, на общее время T , затраченное на перемещение (1, 2).

Можно рассматривать тактическую, оперативно-тактическую и стратегическую подвижности.

Тактическая подвижность ВГМ – подвижность на поле боя и марше при выполнении тактических задач (задачи одного дня боя или марша без дозаправки топливом или боекомплект).

Оперативно-тактическая подвижность ВГМ – подвижность при ведении армейских и фронтовых операций.

Стратегическая подвижность ВГМ – подвижность в стратегических операциях при перемещении ВГМ своим ходом на большие расстояния по заранее оборудованным, как правило, маршрутам или перевозке транспортными средствами (автомобильным, железнодорожным, морским или авиатранспортом).

Подвижность ВГМ характеризуется следующими частными свойствами: быстроходностью, проходимостью и автономностью. Стратегическая подвижность, кроме того, характеризуется транспортабельностью (пригодностью к перевозке транспортными средствами и десантированию).

Быстроходность – свойство ВГМ, характеризующее скорость преодоления ею определенного расстояния в заданных условиях при максимальном использовании технических возможностей. Быстроходность включает динамичность, плавность хода и управляемость. Показателем быстроходности является средняя скорость движения v_{cp} , полученная путем деления реально пройденного пути S_p на время чистого движения t_d .

Показателем проходимости является коэффициент проходимости $k_{пр} = S/S_p$, показателем автономности принимается коэффициент автономности $k_a = t_d / (t_d + t_{о.д}) = t_d / T$. С учетом коэффициента автономности формула (2) будет иметь вид: $P = k_{пр} k_a v_{cp}$ ».

Таким образом, для корректной оценки боевой эффективности военных машин, возникает необходимость в достоверной оценке их подвижности.

В XXI веке картина по определению понятия подвижности также не улучшилась. Рассмотрим, как определяется термин «*подвижность*» в диссертационных исследованиях ведущих специалистов в области автотракторной техники: **Е.Е. Баженов** (обобщенный показатель подвижности и тяговых свойств – свободная сила тяги на крюке); **И.О. Донато** (рассчитать подвижность машины, т.е. определить скорость движения в зависимости от высоты снега); **В.И. Котляренко** (проходимость рассматривается как одно из свойств подвижности, характеризующее способность машины преодолевать заданное расстояние с максимальной скоростью и минимальным расходом топлива); **В.В. Ларин** (эффективность выполнения поставленных задач принято характеризовать «подвижностью» – комплексом свойств, характеризующих способность движения по заданному маршруту с высокой скоростью, экономичностью и надежностью); **Е.В. Сарач** (важным оперативным свойством обеспечения живучести боевой ГМ считается ее высокая подвижность, обеспечиваемая высокими скоростями движения); **Н.В. Чернышев** (Подвижность – это любая способность к перемещению. Подвижность охватывает группу свойств, одним из которых является поворотливость. Известно, что поворотливость выражает способность машины к преодолению поворотов на местности и дорогах. Динамическая поворотливость характеризует способность машины к поворотам при движении с высокими скоростями.); **В. Горелов** (Таким образом, разработка закона управления поворотом колёс задней оси, направленного на повышение устойчивости и управляемости, является важной исследовательской и прикладной задачей, решение которой позволит модернизировать существующие и создавать новые объекты без кардинального изменения системы рулевого управления с улучшенными показателями по подвижности: по скорости выполнения манёвров без угрозы возникновения аварийной ситуации, что, в свою очередь, позволит снизить требования и к подготовке водителя); **А.Н. Наумов** (ограничение подвижности автомобилей, предназначенных для движения вне дорог, в большинстве случаев предопределяется показателями их опорной проходимости).

При этом еще в 2000 году профессором В.В. Беляковым в публикациях [7,8] и позднее в работах [9–22] было неоднократно дано определение, что *подвижность автотракторной техники включает в себя способность машины выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины*. Определение содержит две характеристики, относительно которых формируется выполнение транспортно-технологической операции: *условия эксплуатации и состояние машины*. Управление

состоянием машины связано с поддержанием ее жизнеспособности, и главным в этом процессе является обеспечение надежности. Однако данное определение не было должным образом воспринято научной общественностью, что и породило «волну» приведенных недоразумений при определении подвижности в более поздних исследованиях. Коллектив авторов продолжил исследования в области создания **теории подвижности** мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов, включая автономные автоматические системы (мобильные роботы и планетоходы). На данном этапе в Нижегородской научной школе сформировалось устойчивое представление о категории «подвижность транспортно-технологических машин», которое излагается далее.

Подвижность как совокупность задач управления

Авторы данной работы в публикациях [23–47] позиционируют **подвижность как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее её способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины**, т.е. возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи. Таким образом, процесс поддержания подвижности является ключевым в решении проблемы обеспечения *устойчивого и безопасного функционирования* мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов.

На рис. 4 в соответствии с изложенной в работах [10, 20] типологизацией систем управления транспортно-технологическими машинами по классификационному признаку (*решаемая задача управления*) представлена четырехуровневая взаимопоглощающая конструкция управления ТТМ. Как видно из схемы, управление подвижностью мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов замкнуто в процессе поддержания устойчивой работы и обеспечивает *эксплуатационную и конструкционную подвижность*.

Эксплуатационная подвижность (ЭП) определяет возможность выполнения поставленной задачи по условиям эксплуатации, включающим в себя как характеристики местности, так и режимы нагружения машины.

Конструкционная подвижность (КП) связана с техническими характеристиками машины, которые в ходе эксплуатации могут существенно изменяться и приводить как к частичной потере подвижности, так и к ее полной потере. Изменения конструкционной подвижности связаны, с одной стороны, с износом узлов, систем и деталей машины, что приводит к отказам функционирования, а с другой стороны, с разрушениями конструкции, обусловленными «агрессивностью» внешней среды. Агрессивность внешней среды может проявляться весьма в разнообразных формах, однако чаще всего это механические воздействия: *износные* и *ударные*. Износы определяют отказную надежность машины, а ударные механические взаимодействия – могут носить как естественный характер вследствие контакта с местностью, так и искусственный при столкновениях с другими машинами и/или объектами внешней среды, а также повреждения, полученные в ходе боевых действий и террористических актов от воздействия средств поражения со стороны противника.

Подвижность (П) машины есть обобщенная функция эксплуатационной и конструкционной подвижностей:

$$П = f(ЭП; КП) \quad (3)$$

Сложно, с позиции подвижности машины, ввести разграничения на активную и пассивную безопасности, так как эти понятия охватывают широкий круг задач, связанных с поддержанием устойчивого и безопасного движения, и не имеют четких границ разделения. Более приемлемым является выделение *подвижности по мобильности и живучести*, которые дополняются задачей устранения критических ситуаций – динамической адаптивностью наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности.



Рис. 4. Иерархия задач управления ТТМ

Подвижность по мобильности (мобильность – от лат. mobilis – подвижный) - способность машины к быстрому передвижению, действию. По существу, этот термин относится к понятию «движение» или более широко определяет «готовность к быстрой реакции, быстрому включению в деятельность». Это может быть, буквально, физическое движение или движение через некоторые «сферы», которые могут быть природные, климатические,

дорожно-транспортные, технические, социальные. Термин «*мобильность*» обычно используется с уточняющими определениями. Например, тягово-скоростная мобильность, курсовая и траекторная мобильность. Все эти понятия объединяются в способность к движению в каких-либо условиях и решаются в трех основных задачах управления машиной: *поддержание скорости движения, обеспечение курсовой ориентации, устранение критических ситуаций*. Последняя задача управления осуществляет **динамическую адаптивность** машины к условиям эксплуатации и к собственному техническому состоянию. В англоязычной интерпретации теории подвижности этой задачи в соответствие ставится термин – **agility** (быстрота, ловкость, живость, резвость, проворство, сообразительность).

Оценка мобильности и построение алгоритмов управления автотракторной техникой выполняются на основе следующих критериев: 1) *по запасу тягового усилия*; 2) *по балансу мощности*; 3) *по курсовой ориентации (управляемости и маневренности)*. При этом имеют место следующие решения задачи поддержания подвижности по мобильности: 1) **концепция управления движением** ($\lambda_p = \text{var}$, $\lambda_k = \text{const}$, $\lambda_s = \text{const}$) – для заданных условий эксплуатации и данной конструкционной конфигурации машины определяются оптимальные режимы управления движением; 2) **концепция конструкции машины** ($\lambda_k = \text{var}$, $\lambda_p = \text{const}$, $\lambda_s = \text{const}$) – для заданных условий эксплуатации и выбранных режимов управления движением определяется рациональная конструкционная конфигурация машины; 3) **концепция условий эксплуатации** ($\lambda_s = \text{var}$, $\lambda_k = \text{const}$, $\lambda_p = \text{const}$) – для данной конструкционной конфигурации машины и выбранных режимов управления движением определяются критические характеристики условий эксплуатации. Здесь λ_k – параметры машины, включая параметры движителя; λ_s – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути; λ_p – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые. Причем эти параметры могут рассматриваться как по отдельности, так и в виде каких-либо комплексных характеристик $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p)$.

Подвижность по живучести (жизнестойкость) – обеспечение управления состоянием машины направленным на поддержание *работоспособности* наземных транспортных систем и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности. При этом следует различать *частичную* и *полную* потерю работоспособности.

Жизнестойкость машин можно разделить на *отказную*, связанную с износами и *эксплуатационную*, которая определяется функционированием машины в природно-климатической среде и социально-технической сфере деятельности. Таким образом, жизнестойкость может быть связана не только со свойствами местности, но с воздействиями от деятельности человека, например, техногенные катастрофы, военные действия, дорожно-транспортные происшествия, сверхтяжелые (ненормированные) режимы работы.

Жизнестойкость может быть разделена на структурную и функциональную составляющие. Если исследование структурной составляющей живучести в основном сводится к выявлению уязвимых мест в топологии системы и определению степени их влияния на целостность системы, то исследование функциональной составляющей живучести сводится к определению способности системы решать стоящие перед ней задачи при изменяющихся возможностях ее элементов.

Оценка жизнестойкости машины по отказной надежности проводится по критерию *вероятности безотказной работы*, а по эксплуатационной надежности – *вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии*.

Комплексная оценка подвижности наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов производится на основе системы критериев и ограничивающих условий:

по мобильности

$$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Delta P_{\varphi}, \quad (4)$$

$$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_f, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda)], \quad (5)$$

$$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_s; \lambda_p); \quad (6)$$

по живучести

$$R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \geq R_{\eta}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t); \quad (7)$$

$$\Phi_f \text{ при } R_{\text{эн}}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t). \quad (8)$$

Критерии построены в зависимости от параметров взаимодействия движителя с плотным пути Φ_{φ} , Φ_f и с учетом других характеристик $\lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_s; \lambda_p)$. Здесь ΔP_{φ} – запас силы тяги; W_{φ} – мощность, реализуемая движителем по сцеплению; $\Delta W = W_{\text{эу}} - W_f$ – запас мощности по двигателю; $W_{\text{эу}}$ – мощность энергетической установки; W_f – мощность сопротивлений; Φ_R – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения; $R_{\text{он}}$ – вероятность безотказной работы; R_{η} – предельная вероятность безотказной работы техники в оптимальных (заданных для расчета) условиях работы и технологии изготовления машины; $R_{\text{эн}}$ – вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии; $\Phi_{\text{ив}}$ – обобщенная функция интенсивности аварийного или поражающего воздействия; R_{γ} – предельная вероятность работоспособности техники после заданной (в расчетах) интенсивности аварийного или поражающего воздействия; t – время работы или воздействия в соответствии с рассматриваемым типом надежности.

Представленную систему критериев (4)-(8) с ограничивающими условиями можно свести к более обоснованной системе целевых функций:

$$\Phi_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (9)$$

$$\Phi_f(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (10)$$

$$v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (11)$$

$$\rho(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (12)$$

$$R(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}. \quad (13)$$

Здесь Φ_{φ} – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания; Φ_f – обобщенная функция сопротивления движению машины; v – скорость движения машины; $\rho = R_{\text{п}} / B$ – относительный радиус поворота, где B – колея машины, R – вероятность безотказной работоспособности машины, как функция $R(R_{\text{он}}; R_{\text{эн}})$ отказной и эксплуатационной надежности; λ – конструкционные (λ_k), эксплуатационные (λ_s) и режимные (λ_p) параметры и характеристики машины и процесса ее движения.

Решение задачи многокритериальной оптимизации представленной системой уравнений (9) подробно изложено в работе [10].

Для решения данной задачи, носящей многокритериальный характер, используем метод свертывания векторного критерия, учитывающего относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга) F , являющейся обобщенным критерием оптимальности. Рассмотрим функцию F с аддитивным критерием оптимальности [10]:

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^5 w_i \tilde{Q}_i, \quad (14)$$

где $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \tilde{Q}_3, \tilde{Q}_4, \tilde{Q}_5\}$ – вектор частных критериев, $w = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}$ – весовые коэффициенты относительной важности частных критериев, которым при решении предлагается дать точные численные оценки, причем $\sum_{i=1}^5 w_i = 1$.

Поставим в соответствие \tilde{Q}_1 нормированную функцию сцепления двигателя с материалом опорного основания ($N_\phi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$), \tilde{Q}_2 – нормированную функцию сопротивления движению машины ($N_f(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$), \tilde{Q}_3 – нормированную скорость движения машины ($N_v(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$), \tilde{Q}_4 – нормированный относительный радиус поворота ($N_p(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$), \tilde{Q}_5 – нормированную вероятность безотказной работы машины ($N_R(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$). Здесь, как и ранее, λ_k – параметры машины, включая и параметры двигателя, λ_3 – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути, λ_p – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые.

При постановке проблемы подвижности автотракторной техники в работе [10] были представлены три решения задачи ее поддержания:

- 1) концепция управления движением ($\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{var}$);
- 2) концепция конструкции машины ($\lambda_k = \text{var}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{const}$);
- 3) концепция условий эксплуатации ($\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{var}, \lambda_p = \text{const}$).

Решения имеют непосредственное отношение лишь к ограниченным задачам поддержания подвижности автотракторной техники и созданных на ее основе транспортно-технологических машин. Однако имеют место и другие варианты решения проблемы поддержания подвижности, которые определяются функцией «var-const» по отношению к параметрам $\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p$. При этом наиболее интересным является комплексное решение задачи подвижности, когда $\lambda_k = \text{var}, \lambda_3 = \text{var}, \lambda_p = \text{var}$, т.е. оценка конкурентоспособности существующей, модифицируемой или вновь создаваемой автотракторной техники. Такая постановка задачи многокритериальной оптимизации и методы ее решения рассматриваются в третьей главе книги [10] и разделе данной статьи посвященной оценке конкурентоспособности автотракторной техники

Динамическая адаптивная подвижность – устранение критических ситуаций

Все структурные единицы представленной на рис. 4 иерархии включают в себя общую задачу – устранение критических ситуаций. Примерами критических ситуаций при движении автомобиля могут служить следующие: потеря управляемости и устойчивости; опрокидывание по критической скорости в повороте; потеря проходимости машины. В рамках данной статьи наибольший интерес представляет рассмотрение задачи поддержания проходимости транспортно-технологической машины.

Одним из наиболее тяжелых режимов работы транспортных средств является передвижение по снегу. Управление вездеходными транспортными средствами в условиях их передвижения по заснеженной местности имеет ряд характерных особенностей (рис.5): снег – поверхность движения с очень низкой несущей способностью; в условиях снежного бездорожья постоянно встречаются препятствия, превышающие высоту просвета машины; слабый грунт на спусках; большое количество крутых уклонов, повышающих вероятность опрокидывания.

Значительную часть способности машины выполнять поставленную задачу независимо от условий движения можно обеспечить за счет рациональной конструкции машины (выбора двигателя, трансмиссии, двигателя и т.д.).

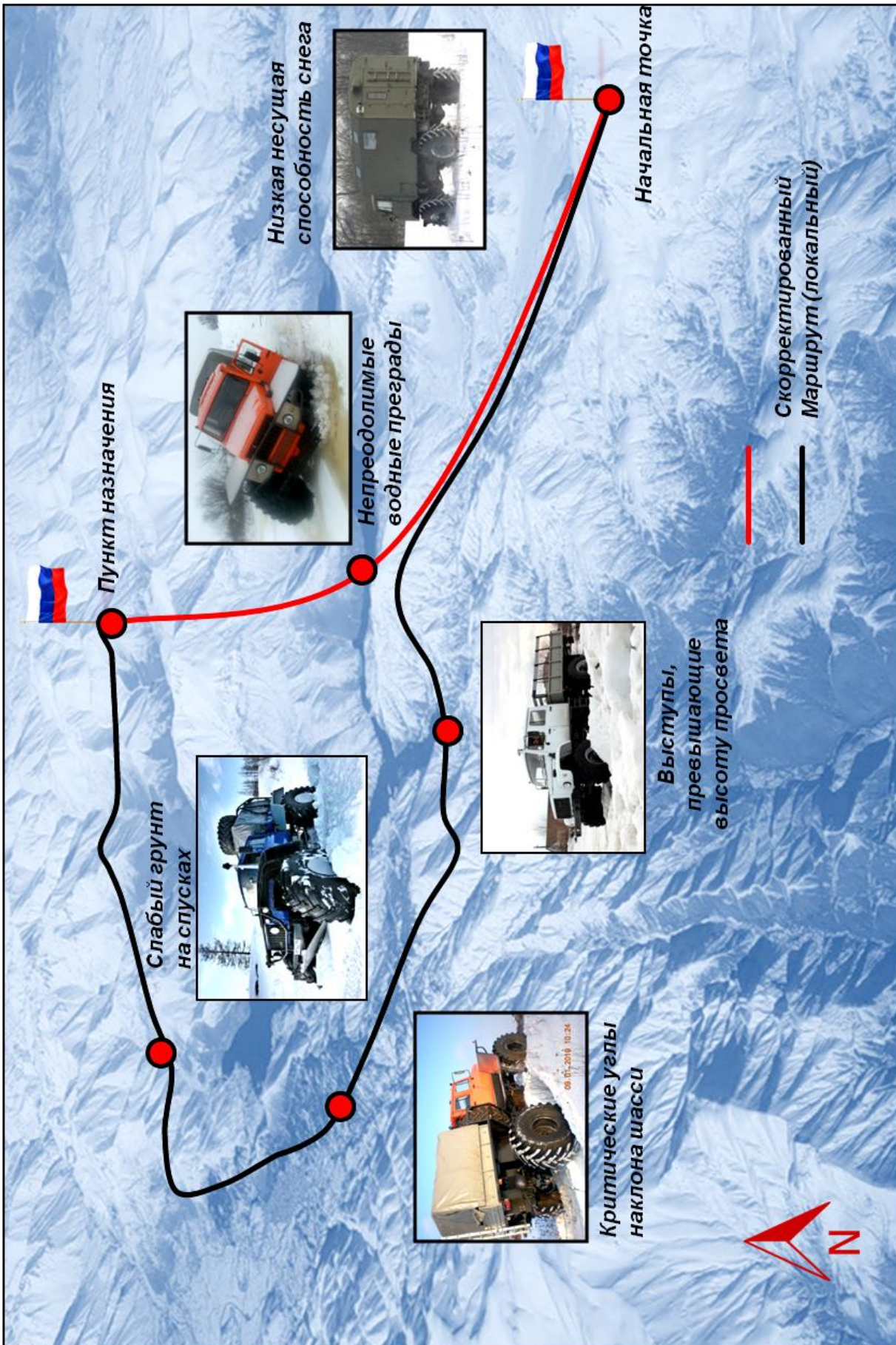


Рис.5. Особенности движения транспортных средств в условиях заснеженной местности

Однако для передвижения по труднопроходимой местности при резком изменении условий движения обеспечить подвижность машины можно только за путем своевременного изменения основных режимов работы отдельных агрегатов и систем мобильного шасси. Таким образом, достижение высокой мобильности транспортных средств при передвижении в условиях бездорожья обеспечивают системы поддержания динамической адаптивной подвижности, базовый перечень которых представлен на рис. 4 в задаче устранения критических ситуаций.

Общеизвестно, что способность машины двигаться по слабым грунтам зависит от разности между силой тяги и сопротивлением движению. Системы адаптивной подвижности поддерживают буксование колес в режиме тяги на уровне, обеспечивающем максимальное значение коэффициента сцепления в продольном направлении. На основании сигналов датчиков определяются следующие характеристики: скорость движения; величины буксования движителей; величину осадки и интенсивность погружения ТТМ; значения углов крена и дифферента шасси.

Спидометр как прибор, кинематически связанный с трансмиссией, обладает низкой точностью измерений действительной скорости перемещения ТТМ при движении вне дорог, так как не учитываются эластичность колес, их пробуксовка и отрыв от опорной поверхности. Спутниковые системы позиционирования также не дают желаемой точности. Наиболее распространенными средствами определения скорости ТТМ являются инерциальные навигационные системы на основе акселерометров или гироскопов. Перспективными считаются измерители, в основу которых положен доплеровский эффект, и системы, использующие информацию не об окружающей среде, а о динамике колебательных процессов самого транспортного средства (корреляционно-экстремальные системы). Для определения величины буксования также определяются угловые скорости колес, снимаемые индуктивными датчиками.

Для определения осадки используются приборы, регистрирующие изменение частоты радиосигнала, отражённого от опорной поверхности движения – доплеровские радары; и системы, использующие совокупность акселерометров на корпусе и колесах ТТМ. В ряде случаев можно использовать контактные датчики, выходной сигнал которых формируется в результате прямого взаимодействия с поверхностью движения.

На основании полученной информации системы адаптивной подвижности нужным образом регулируют крутящий момент на колесах. Регулирование крутящего момента на колесах может осуществляться подтормаживанием колес или регулированием крутящего момента двигателя. Для обеспечения равномерного распределения динамической нагрузки на колеса при необходимости корректируется значения углов крена и дифферента шасси ТТМ путем изменения дорожного просвета и жесткости отдельных упругих элементов.

Хорошо зарекомендовала себя централизованная система регулирования давления воздуха в шинах. В настоящее время она широко применяется как средство повышения опорной проходимости. К недостаткам данной системы можно отнести низкую скорость работы, в связи с чем автоматизированное управление системой неэффективно.

Традиционным способом повышения проходимости ТТМ в самых тяжелых условиях эксплуатации является блокировка дифференциальных механизмов трансмиссии, как межосевых, так и межколесных. Данный способ является трудносовместимым со способами, предложенными ранее (кроме системы регулирования давления в шинах). Например, в случае совмещения полностью блокируемой трансмиссии с автоматической системой распределения тормозных усилий возникает значительная циркуляция мощности, отрицательно сказывающаяся на ресурсе агрегатов трансмиссии. Однако в ряде случаев блокировка межосевого дифференциала является оправданной, так как существенно упрощает конструкцию исполнительных устройств системы устранения критических ситуаций.

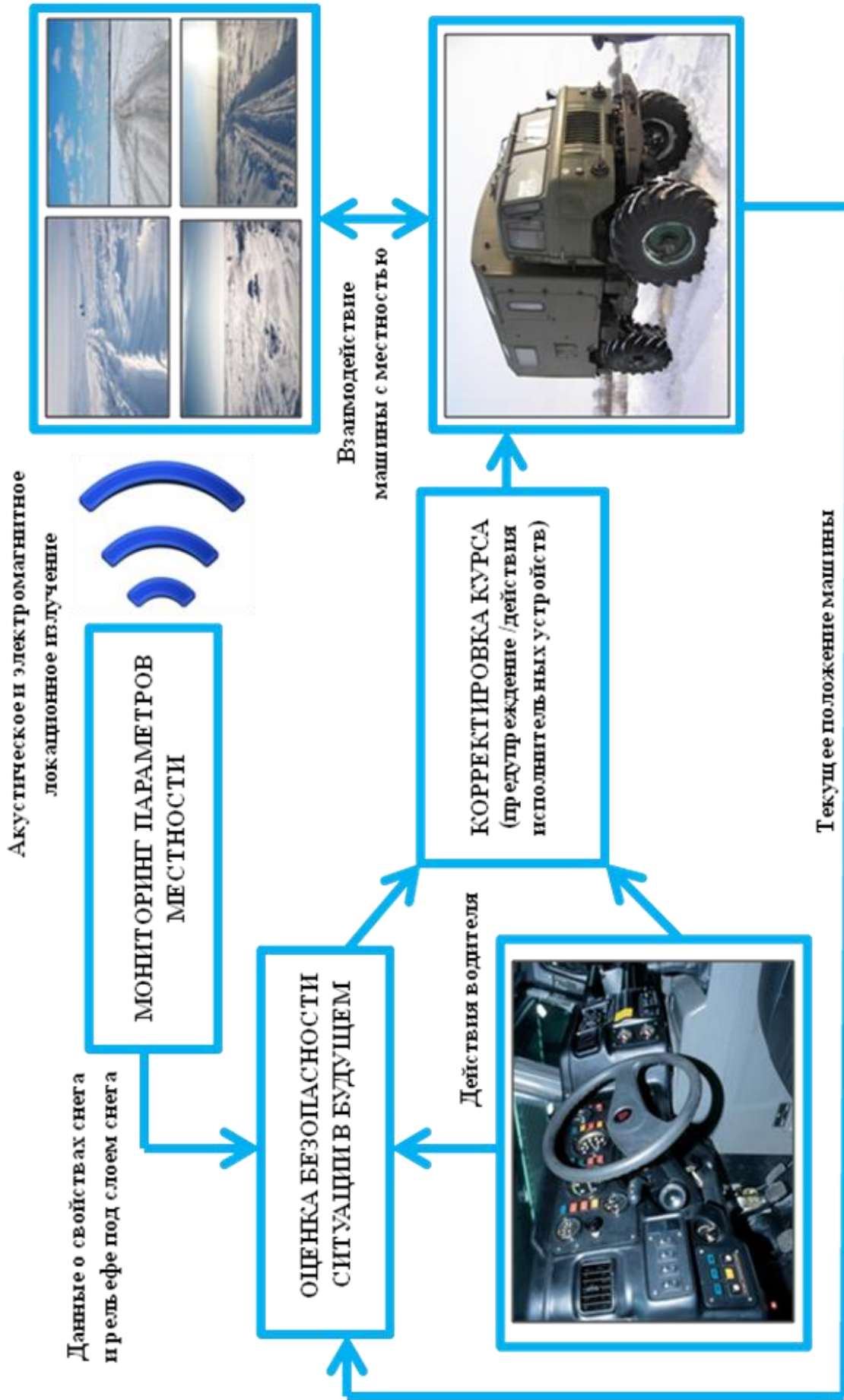


Рис.6. Система предотвращения критических ситуаций

Главная особенность функционирования внедорожных машин заключается в том, что последовательность их действий, необходимых для достижения цели, как правило, не может быть заранее определена, поскольку информация о будущих состояниях среды априорно недоступна. Формирование траекторий движения осуществляется следующим образом: анализ карт подвижности [47] позволяет предварительно выделить запрещенные для движения участки и наметить оптимальный для данного рельефа глобальный маршрут из исходной точки в конечную.

Но даже идеально проложенный маршрут бесполезен, если машина не способна определить свое местоположение и направление дальнейшего движения. Навигационная система ТТМ получает сигналы от космических аппаратов глобальной навигационной спутниковой системы, которые позволяют его электронному блоку управления вычислять точное местоположение. При блокировании сигналов навигационной системы положение машины определяется собственными средствами отслеживания положения (инерциальные навигационные системы и т.д.). Намеченную по картам глобальную траекторию можно считать оптимальной только условно, поскольку на трассе движения могут встретиться отдельные непреодолимые препятствия. Таким образом, при управлении вездеходным транспортным средством приходится решать редко встречающуюся в управлении мобильными системами задачу по идентификации и объезду непреодолимых препятствий и участков местности. Поэтому для машин, передвигающихся в условиях заснеженной местности, перспективным является разработка и создание акустических систем прогнозирования конфигурации рельефа подстилающего слоя перед машиной, а также бесконтактного определения физико-механических свойств и толщины снежного покрова (рис.6).

Эффективность транспортно-технологических машин

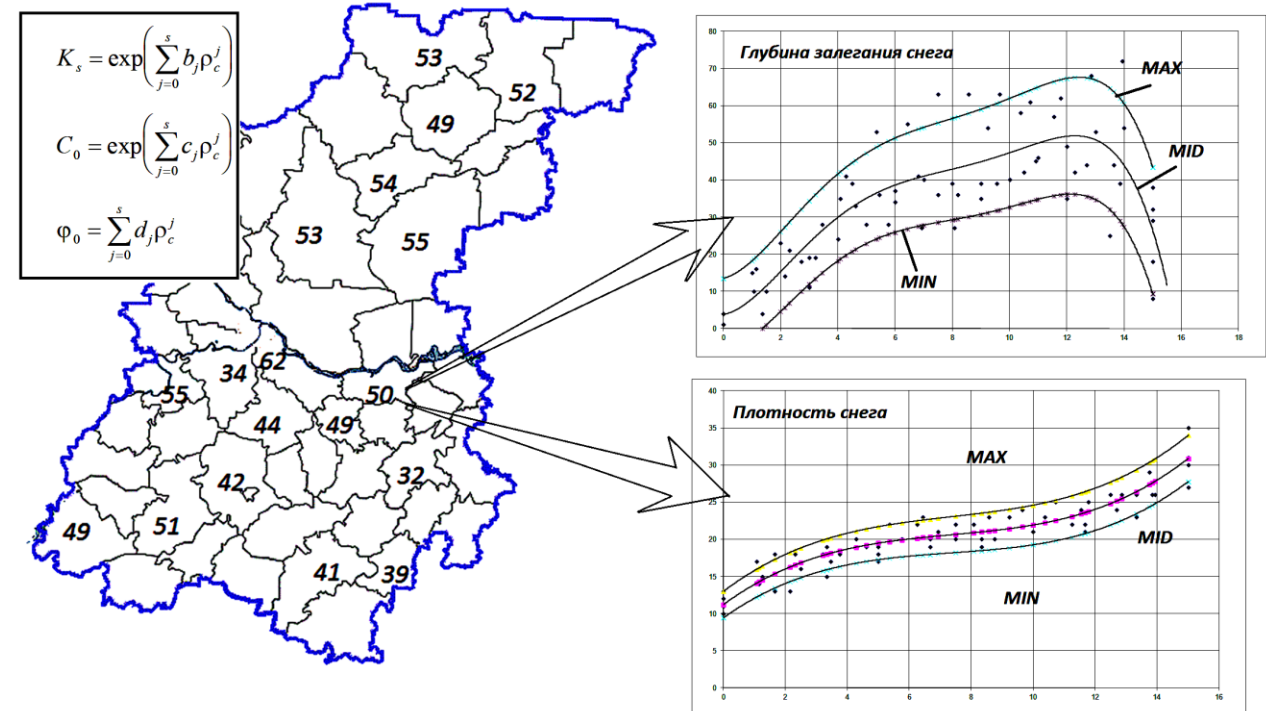
Разнообразие транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники, используемых человеком в своей ежедневной экономическо-производственной и социально-политической деятельности, привело к созданию множества оценочных комплексов их эффективности.

При разработке транспортно-технологических машин (ТТМ) для бездорожья и в том числе для заснеженной местности (как наиболее сложной для движения), проектировщик задается вопросом обеспечения необходимого уровня проходимости машины. Незнанием моментом при проектировании колесных машин является расчет *эффективности* их движения на местности. При этом если машины обладают достаточной проходимостью на местности, это еще не означает, что во всех случаях это достигается рациональным образом по эффективности.

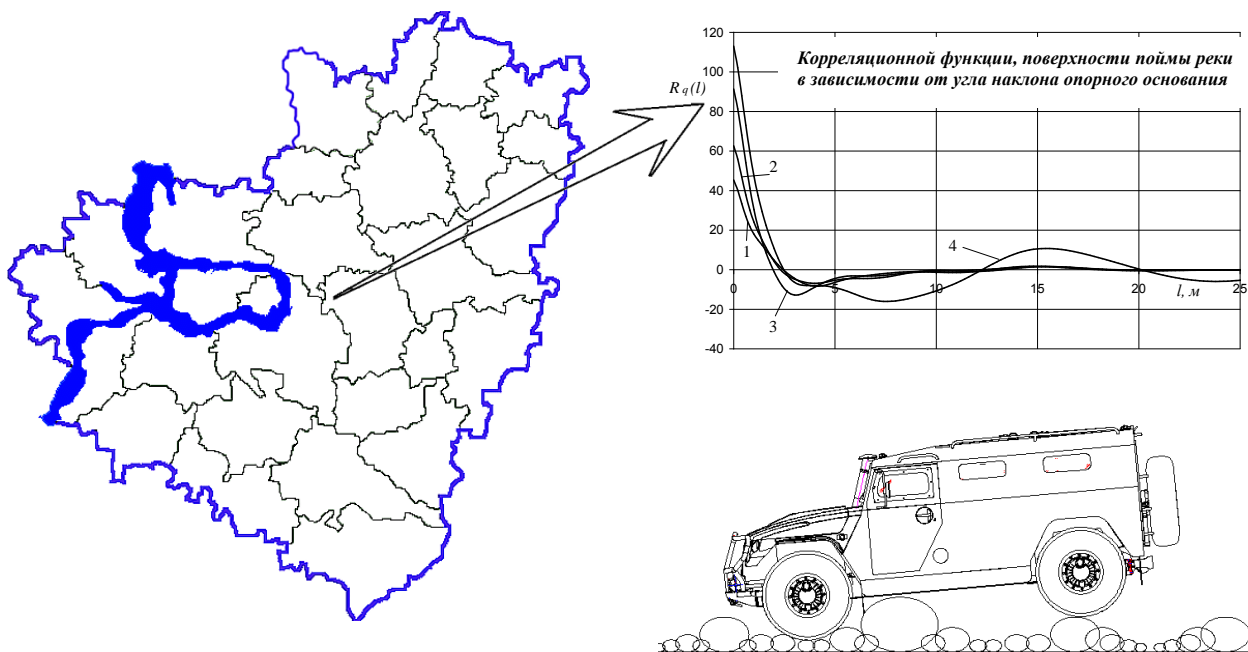
Под эффективностью понимается обобщающий показатель, характеризующий отношение результатов деятельности к затратам на их получение.

Повышение эффективности ТТМ при движении может быть достигнуто за счет усовершенствования конструкции как самой машины, так и её движителя. Также при оценке эффективности движения ТТМ необходимо учитывать степень ее соответствия условиям эксплуатации. Проходимость и эффективность должны быть сопоставлены с меняющимися в течение года погодными условиями.

Зная статистические характеристики местности (рис. 7), например, *снега* (рис. 7, а) (плотность и глубину залегания в течение года, а также продолжительность и сроки начала сезона в разных районах рассматриваемой территории) или *каменных дорог* (рис. 7, б), можно все остальные параметры, необходимые для оценки проходимости машин, получить исходя из них. Опираясь на эти данные, можно оценить подвижность транспортно-технологических машин и, как следствие, определить параметры и показатели их проходимости в данных эксплуатационных условиях.



а)



Фрактальная модель полотна пути

б)

Рис. 7. Примеры характеристик местности:

- а – средние значения максимальных глубин снега на территории Нижегородской области;
- б – «stone-road» корреляционные функции, поверхности поймы реки в Чеченской республике в зависимости от угла наклона опорного основания:
 1 - угол наклона 0,05 рад; 2 - угол наклона 0,10 рад;
 3 - угол наклона 0,15 рад; 4 - угол наклона 0,20 рад

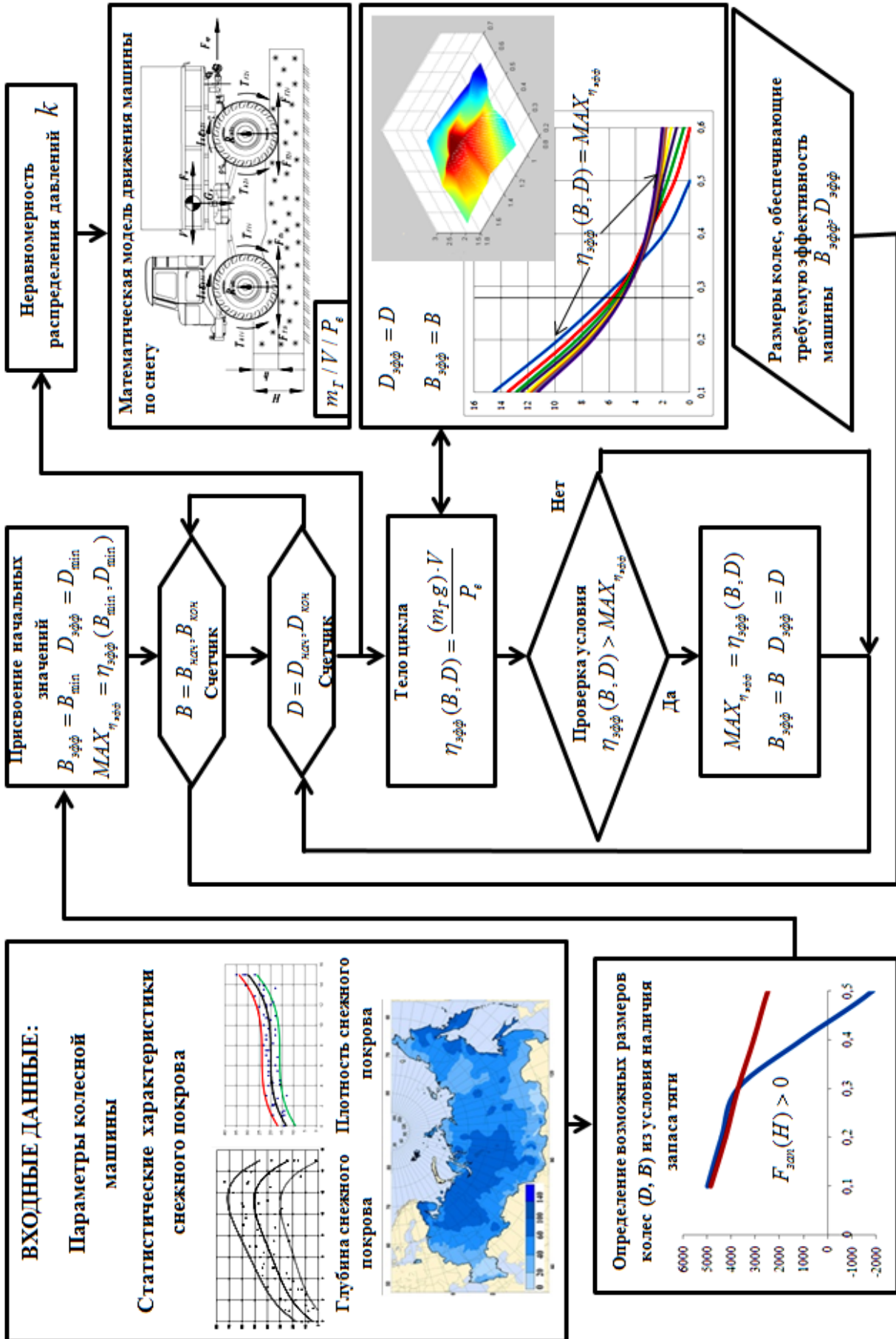


Рис. 8. Методика расчета эффективности транспортно-технологической машины

Наиболее рациональным критерием оценки эффективности ТТМ при движении является показатель, определяемый как *отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы* (потребной мощности двигателя):

$$\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_{\Gamma}g) \cdot V}{P_e}, \quad (15)$$

где m_{Γ} – масса перевозимого груза; V – скорость транспортного средства; P_e – потребная мощность двигателя машины.

На рис. 8 представлена блок-схема методики выбора конструкционных параметров движителей ТТМ на основе расчетной оценки эффективности движения машин по бездорожью, в частности, по снегу [39]. В предложенной методике используется цикл со счётчиком (перебор), в котором базовые геометрические размеры движителя изменяют своё значение от заданного начального значения до конечного значения с некоторым шагом, и для каждого соотношения размеров тело цикла выполняется один раз. Начальные значения параметров движителя определяются из условия проходимости (наличия запаса силы тяги), а рациональные с точки зрения эффективности – в результате решения задачи «поиска максимального элемента массива». В качестве элементов массива данных выступают значения эффективности транспортно-технологической машины при движении по бездорожью (снегу), а в качестве индексов этих элементов – параметры конструкционных элементов движителя из заданного диапазона существующих и возможных для использования.

На рис. 9 приведен пример результатов расчетных исследований проходимости и эффективности для автомобилей ГАЗ 66 на шинах КИ-115А 12.00 R18 (рис. 9, а) и ЗВМ – 3966 СБХ «СИБЕР» на шинах ИЯВ-79 (21,3-24) 1400x540 (рис. 9, б). Полные массы автомобилей близки и находятся в пределах 5800 – 6150 кг. Представленные графики демонстрируют следующее: при выборе конфигурации движителя необходимо учитывать, что **при обладании колесными машинами проходимость в заданных условиях их эффективность может быть различной**.

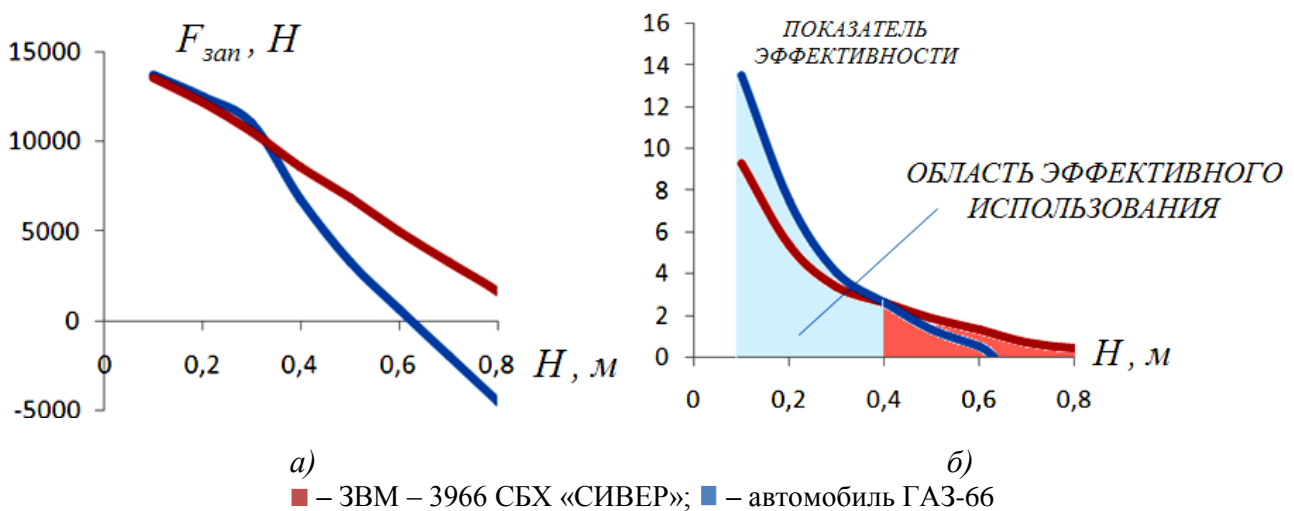


Рис. 9. Зависимости:

- а – запасов силы тяги сравниваемых машин от высоты снега;
 б – показателей эффективности сравниваемых машин от высоты снега

Данные графики иллюстрируют то, что при глубинах снега менее 0,4 м эффективнее для выполнения транспортно-технологических операций использовать стандартный автомобиль, а для больших глубин модифицированную колесную машину.

Конкурентоспособность транспортно-технологических машин

Для качественной и количественной оценки конкурентоспособности автотракторной техники можно предложить ряд методов: построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрии и многокритериальной оптимизации [10]. При этом последний метод направлен не столько на оценку качества существующей конструкции, сколько на выбор рациональных технических, технологических, эксплуатационных и потребительских параметров проектируемой машины. Этот метод в отличие от первых трех может быть совмещен с системой автоматического проектирования, а оценку качества существующей машины от других можно производить как отклонение их от оптимального эталона, что в целом также делается в других методах. Однако другие методы не позволяют производить математически точный выбор рациональных параметров проектируемой автотракторной техники.

Под конкурентоспособностью автотракторной техники понимается такое комплексное свойство конкретной машины, определяющее ее качество в соответствии с фактическими значениями технических, технологических, эксплуатационных и потребительских показателей, которое характеризует ее способность конкурировать с аналогичными образцами машин, выпускаемых (разрабатываемых) конкурирующими фирмами.

Методика оценки конкурентоспособности наземных транспортно-технологических машин (ТТМ) сводится к следующему: 1) раздробить оценочные характеристики до числовых показателей; 2) выразить оценочные показатели в безразмерной форме; 3) принять условие, что рост показателя определяет повышение эффективности, вследствие чего ряд показателей должен быть либо взят как обратная величина, либо как результат от вычитания из единицы; 4) повторяющиеся величины должны учитываться столько раз, сколько они встречаются, что определит их ранжировку (весовую значимость); 5) все оценки должны браться по модулю; 6) число оценочных характеристик для сравниваемых различных типов ТТМ должно быть одинаково. Наибольшую трудность вызывает оценка эстетических показателей. Она может быть проведена на основе вероятностных оценок по результатам опросов потребителя или экспертов. Вероятностные оценки могут быть положены в основу бальной характеристики эстетичности машины. Однако нельзя пренебрегать общеизвестным утверждением, что «на вкус и цвет товарищей нет», и это самая сложная задача. С этой точки зрения наиболее подходящим для оценки конкурентоспособности автотракторной техники является метод построения экспертных систем.

Методы оценки конкурентоспособности автотракторной техники (построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрия) обладают множеством недостатков, которые снижают практическую ценность их использования. К наиболее существенным можно отнести следующие: *во-первых*, метод нахождения регрессии не позволяет оценить раздельно влияния тех или иных факторов на качество машины по конкурентоспособности; *во-вторых*, метод квалиметрии абсолютно субъективен; *в-третьих*, имея даже мощную персональную вычислительную машину и используя программный язык высокого уровня, легко написать программу, которая будет проявлять основные черты, присущие экспертным системам, правда, в так называемом «демонстрационном варианте» и при ограниченной базе данных никогда не сможет заменить искусного специалиста в области оценки конкурентоспособности автотракторной техники; *в-четвертых*, все методы требуют сбора статистических данных и проведения расчетов по определению количественной оценки эталонной машины. В связи с изложенным, применение многокритериальной оптимизации по определению характеристик конкурентоспособной машины может оказаться наиболее целесообразным. В отличие от рассмотренных методов данный подход обладает рядом преимуществ и, в первую очередь, позволяет в динамическом диалоге «конструктор – проектируемый объект» определять рациональные характеристики автотракторной техники, тогда как методы отыскания регрессии и квалиметрии позволяют изучать лишь конкретно заданную конструкцию машины. При этом многокритериальная оценка качества автотракторной техники санкционирует выход на совершенно новый уровень методологического решения данной проблемы, который состоит в отыскании точки бифуркации, где конкурентоспособность рассматриваемой машины становится равновероятност-

ной при различных сочетаниях входных параметров λ . Это как нельзя лучше отвечает *субъективной потребителю оценке* качества автотракторной техники, т.е. «в глазах» разных по социальным и психофизиологическим качествам людей разные по классу, назначению и конструкции машины становятся конкурентоспособными.

Все показатели конкурентоспособности автотракторной техники, как и в задаче оценки ее подвижности, зависят от конструкционных параметров машины λ_k , режимных характеристик ее работы λ_p и обобщенных функций взаимодействия (Φ_ϕ, Φ_f) двигателя и рабочих органов машины с местностью, которые определим как совокупность λ_ϕ . В дополнение к названным входным величинам необходимо ввести показатели, определяющие оценочные характеристики по технологичности изготовления, обслуживания и ремонта автотракторной техники – λ_T , а также систему, характеризующую индивидуальные социальные и психофизиологические свойства потребителя – λ_π . При этом $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\phi, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\pi)$, а задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники, т.е. поиск λ^{opt} , имеет смысл лишь в случае, когда $\lambda_k = var$; $\lambda_\phi = var$; $\lambda_p = var$; $\lambda_T = var$; $\lambda_\pi = var$. Величины $\lambda_k, \lambda_p, \lambda_\phi, \lambda_T, \lambda_\pi$ являются поливекторами первого ранга: $\lambda_k = \lambda_k \{ \lambda_{k1}, \lambda_{k2}, \dots, \lambda_{kq} \}$; $\lambda_p = \lambda_p \{ \lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \dots, \lambda_{pr} \}$; $\lambda_\phi = \lambda_\phi \{ \lambda_{\phi1}, \lambda_{\phi2}, \dots, \lambda_{\phi t} \}$; $\lambda_T = \lambda_T \{ \lambda_{T1}, \lambda_{T2}, \dots, \lambda_{Tu} \}$; $\lambda_\pi = \lambda_\pi \{ \lambda_{\pi1}, \lambda_{\pi2}, \dots, \lambda_{\pi s} \}$.

В связи с чем множество допустимых значений λ может быть представлено как поливектор второго ранга Λ с компонентами Λ_{ij} , где $i = k, p, \phi, T, \pi$ или $i = 1, 2, \dots, 5$, тогда как $j = 1, 2, \dots, g$. При этом должны выполняться некоторые условия формирования матрицы числовых значений компонент поливектора второго ранга Λ , а точнее, например, если при $i = k$ индекс $j = 1, 2, \dots, q, q+1, \dots, g-1, g$ и $q < g$, то элементы $\Lambda_{kj} = 0$ для $j = q+1, q+2, \dots, g-1, g$. Аналогично и при других значениях индекса i (p, ϕ, T, π) в случаях, когда $r < g, t < g, u < g$ и $s < g$ соответственно.

Все подмножество оценочных показателей $A(|A|=m) \subset V(|V|=n)$ можно разделить на ряд дополнительных подмножеств, которые далее будем именовать *группами элементарных оценочных показателей*. Из множества $A(|A|=m)$ выделим четыре подмножества определяющих группы оценочных показателей:

группа 1 – *технические* $A1(A1 \subset A, |A1|=m_1);$ (16)

группа 2 – *технологические* $A2(A2 \subset A, |A2|=m_2);$ (17)

группа 3 – *эксплуатационные* $A3(A3 \subset A, |A3|=m_3);$ (18)

группа 4 – *экономические (стоимостные)* $A4(A4 \subset A, |A4|=m_4).$ (19)

Здесь $m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$.

Поставим в соответствие каждой точке $a1_i \in A1$ множества $A1(|A1|=m_1)$ *технические оценки* качества машины $\{ \Phi_{A1}(a1_i) \}_i$ ($i = 1, 2, \dots, m_1$); точкам $a2_j \in A2$ множества $A2(|A2|=m_2)$ – *технологические оценки* качества машины $\{ \Phi_{A2}(a2_j) \}_j$ ($j = 1, 2, \dots, m_2$); точкам $a3_k \in A3$ множества $A3(|A3|=m_3)$ – *эксплуатационные оценки* качества машины $\{ \Phi_{A3}(a3_k) \}_k$ ($k = 1, 2, \dots, m_3$); точкам $a4_l \in A4$ множества $A4(|A4|=m_4)$ – *экономические (стоимостные) оценки* качества машины $\{ \Phi_{A4}(a4_l) \}_l$ ($l = 1, 2, \dots, m_4$). Здесь $a1_i = \varsigma_i(\lambda)$, $a2_j = \vartheta_j(\lambda)$, $a3_k = \eta_k(\lambda)$, $a4_l = \zeta_l(\lambda)$, причем $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\phi, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\pi)$ при $\lambda_k = var$; $\lambda_\phi = var$; $\lambda_p = var$; $\lambda_T = var$; $\lambda_\pi = var$.

Многокритериальная задача оценки конкурентоспособности автотракторной техники по квазипростым (элементарным) показателям с учетом индивидуальных предпочтений и недостатка информации в области оценки качества субъективных характеристик заключается в отыскании такого поливектора первого ранга $\lambda^{(0)} \in \Lambda$ и соответствующих значений $\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]_{f_i}^{(0)} \ (i=1,2,\dots,m)$, для которых при всех $\lambda \in \Lambda$ имеет место

$$\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]_{f_i}^{(0)} = \operatorname{extr}_{\lambda \in \Lambda} \{\Phi_A [a_i(\lambda)]_{f_i}\}, \quad (i=1,2,\dots,m). \quad (20)$$

При этом $\lambda^{(0)} \equiv \lambda^{\text{opt}}$ – есть оптимальное решение из множества допустимых решений Λ , а значения $\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]_{f_i}^{(0)} \ (i=1,2,\dots,m)$ – оптимумы оценочных показателей конкурентоспособности автотракторной техники.

Для упрощения записи постановки задачи введем систему переобозначений, в которой обозначениям оценочных показателей $\{\Phi_A [a_i(\lambda)]_{f_i}\}$ поставим в соответствие обозначения точек a_i множества $A \ (|A|=m)$ как функций параметров $\lambda = \xi(\lambda_\kappa, \lambda_\varsigma, \lambda_p, \lambda_\tau, \lambda_\pi)$, т.е.

$$\{\Phi_A [a_i(\lambda)]_{f_i}\} \equiv a_i(\lambda), \quad (21)$$

Обеспечивая конкретизацию постановки задачи оптимизации параметров конкурентоспособности автотракторной техники, разобьем множество $A \ (|A|=m)$, включающее в себя оценочные группы по техническим, технологическим, эксплуатационным и экономическим показателям, на два подмножества $B \ (B \subset A, |B|=k)$, $C \ (C \subset A, |C|=l)$ при условии, что $k+l=m$, таким образом, чтобы первое подмножество содержало в себе все оценки качества, которые необходимо максимизировать, а второе – которые минимизировать. Оценочные показатели, объединенные в подмножествах B и C , определим как

$$b_q(\lambda) \in A, \quad (q=1,2,\dots,k); \quad (22)$$

$$c_p(\lambda) \in A, \quad (p=k+1, k+2,\dots,m). \quad (23)$$

Тогда математическая постановка задачи оптимизации оценочных параметров конкурентоспособности автотракторной техники будет иметь вид:

$$a_i(\lambda) \rightarrow \operatorname{extr}_{\lambda \in \Lambda}, \quad (i=1,2,\dots,m) \text{ или } \begin{cases} b_q(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, & (q=1,2,\dots,k), \\ c_p(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, & (p=k+1, k+2,\dots,m). \end{cases} \quad (24)$$

Здесь $a_i(\lambda) \in A$; $\lambda = \xi(\lambda_\kappa, \lambda_\varsigma, \lambda_p, \lambda_\tau, \lambda_\pi)$ при $\lambda_\kappa = \text{var}$; $\lambda_\varsigma = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_\tau = \text{var}$; $\lambda_\pi = \text{var}$. При этом как максимизируемое $b_q(\lambda)$, так и минимизируемое $c_p(\lambda)$, подмножества содержат достаточно большое количество величин, а все стоимостные экономические показатели относятся к подмножеству $c_p(\lambda)$.

Для решения данной задачи используется метод свертывания векторного критерия [10], учитывающего относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга) F . Рассмотрим функцию F с аддитивным критерием оптимальности:

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^m w_i \tilde{Q}_i, \quad (25)$$

где $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_m\}$ – вектор частных критериев; \tilde{Q}_1 – нормированная функция $a_1(\lambda)$, ...; \tilde{Q}_m – нормированная функция $a_m(\lambda)$. Здесь $w = \{w_1, \dots, w_m\}$ – весовые коэффициенты относительной важности частных критериев, причем $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. При малом количестве критериев оптимальности весовые коэффициенты имеют вполне удобную для расчетов величину. Однако с увеличением их числа, значимость весовых коэффициентов будет уменьшаться, что становится особо неудобным при компьютерных операциях округления. В связи с чем в этих

случаях, целесообразно $\sum_{i=1}^m w_i = K$, где K – параметр масштабирования весовых коэффициентов, который может принимать значения в зависимости от числа частных критериев m .

Пусть весовые коэффициенты вычисляются как $w_i = w_i \{K \Phi_w\}$, ($i=1,2,\dots,m$), где $K \Phi_w = \Phi_w \{K a_i^+(\lambda^+), K a_i^-(\lambda^-), K a_i(\lambda_j), m\}$. Методики их расчета подробно изложены в первой главе книги [10]. Здесь $a_i^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$, $a_i^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$, где λ_j – текущее значение вектора λ ; Λ – множество значений вектора λ ; λ^+ – значение вектора λ , при котором $a_i(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $a_i(\lambda)$ имеет минимальное значение. Тогда можно предложить методику выбора параметра масштабирования. Если $m < 10$, то $K=1$. В случае $10 \leq m < 50$, то $K=10$. При $50 \leq m \leq 100$, $K=100$, а если $m > 100$, то $K=1000$.

Для нормирования частных критериев примем шкалу измерения $[\alpha, \beta]$, причем, учитывая предложенную ранее математическую постановку задачи оптимизации оценочных параметров конкурентоспособности автотракторной техники, для $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$): $[\alpha, \beta] = [1, 2]$, а для $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$): $[\alpha, \beta] = [2, 1]$.

В результате нормирования $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$) получаем следующую формулу:

$$N_{b_q}(\lambda_j) = \frac{b_q(\lambda_j) - b_q^-(\lambda^-)}{b_q^+(\lambda^+) - b_q^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (26)$$

где $N_{b_q}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$). При этом функции $b_q^+(\lambda^+)$ и $b_q^-(\lambda^-)$ имеют следующий вид:

$$b_q^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k); \quad (27)$$

$$b_q^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k), \quad (28)$$

где λ_j – текущее значение вектора λ ; Λ – множество значений вектора λ ; λ^+ – значение вектора λ , при котором $b_q(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $b_q(\lambda)$ имеет минимальное значение.

Для нормирования $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$) получаем следующую формулу:

$$N_{c_p}(\lambda_j) = \frac{c_p(\lambda_j) - c_p^-(\lambda^-)}{c_p^+(\lambda^+) - c_p^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (29)$$

где $N_{c_p}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$). При этом функции $c_p^+(\lambda^+)$ и $c_p^-(\lambda^-)$ имеют следующий смысл:

$$c_p^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m); \quad (30)$$

$$c_p^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m), \quad (31)$$

где λ^+ – значение вектора λ , при котором $c_p(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $c_p(\lambda)$ имеет минимальное значение.

В результате задача сводится к решению однокритериальной задачи оптимизации:

$$F(w, \lambda^{\text{opt}}) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} F(w, \lambda_j) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} \left\{ \sum_{q=1}^k w_q N_{b_q}(\lambda_j) + \sum_{p=k+1}^m w_p N_{c_p}(\lambda_j) \right\}. \quad (32)$$

Следует вспомнить, что $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\gamma, \lambda_p, \lambda_t, \lambda_\Pi)$, поэтому оптимизацию с помощью

обобщенного критерия оптимальности можно производить либо по любому из компонент вектора λ (например, $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{const}$; $\lambda_p = \text{const}$; $\lambda_T = \text{const}$; $\lambda_{\Pi} = \text{const}$), либо по всем компонентам сразу ($\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_T = \text{var}$; $\lambda_{\Pi} = \text{var}$).

Решение данной задачи многокритериальной оценки транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники более подробно с примерами излагается в работе [10].

Задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники есть поиск λ^{opt} , который имеет смысл лишь в случае, когда $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_T = \text{var}$; $\lambda_{\Pi} = \text{var}$. При этом определяются и рациональные значения компонент поливектора первого ранга $\lambda^{\text{opt}} = \xi^*(\lambda_k^{\text{rac}}, \lambda_p^{\text{rac}}, \lambda_3^{\text{rac}}, \lambda_T^{\text{rac}}, \lambda_{\Pi}^{\text{rac}})$. Компоненты этого поливектора определяют непосредственную связь между конкурентоспособностью и концепцией автотракторной техники. Ключом к созданию конкурентоспособного образца автотракторной техники является правильно определенная (разработанная) концепция машины.

На рис. 10 показана структурно-функциональная модель автотракторного средства, а на рис. 11 дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин. Используя схемы, представленную на рис. 10, и уравнение (24) как исходную предпосылку для построения *экспресс-модели конкурентоспособности*, можно записать систему целевых функций для каждого блока машины, определить ее конкурентоспособность.

Для записи таких функций необходимо из дерева оценочных показателей (рис.11) выбрать наиболее важные характеристики для данного конструкционного блока машины, которые характеризуют конструкцию, эксплуатацию, режим работы, технологичность и потребительские свойства (R – надежность; C – себестоимость; Ξ – экономичность: производительность и рентабельность; Π – психофизиологические показатели).

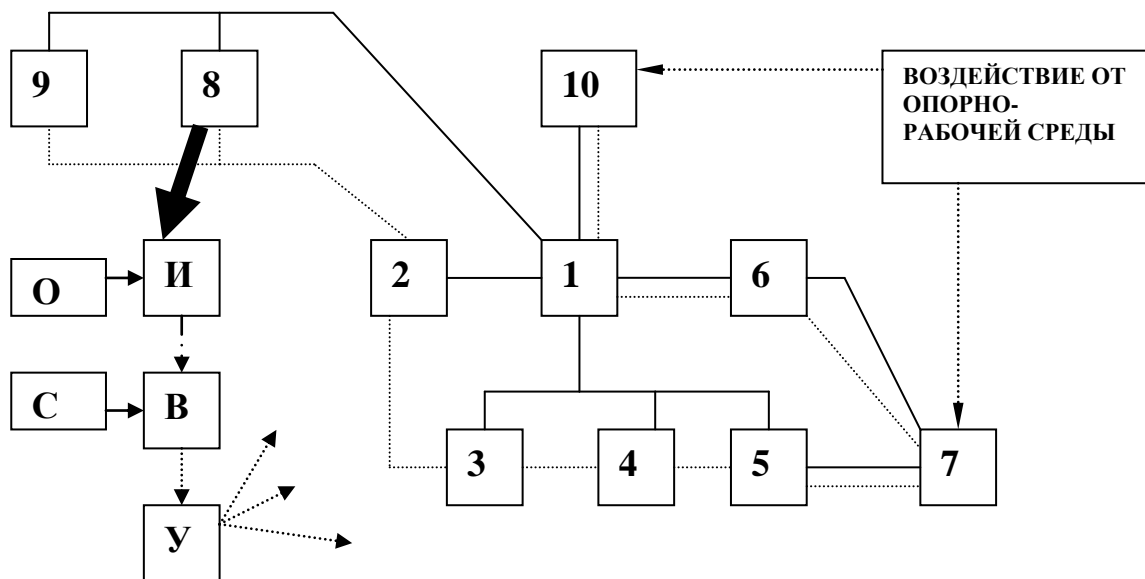


Рис. 10. Функциональная схема автотракторной техники:

ОИ – объективная информация;

СИ – субъективная информация; И – система обработки и отображения информации; В – водитель-оператор; У – устройства управления (входят в различные системы); сплошная линия – конструкционные связи, пунктирная линия – энергетические и силовые связи;

1 – остов; 2 – энергетическая установка; 3 – силовая преобразующе-передающая система;

4 – тормозная система; 5 – система управления курсовым движением; 6 – система подвески;

7 – движитель; 8 – электрическое и электронное оборудование; 9 – система безопасности и комфорта;

10 – система технологического и вспомогательного оборудования

ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА БАЗЕ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

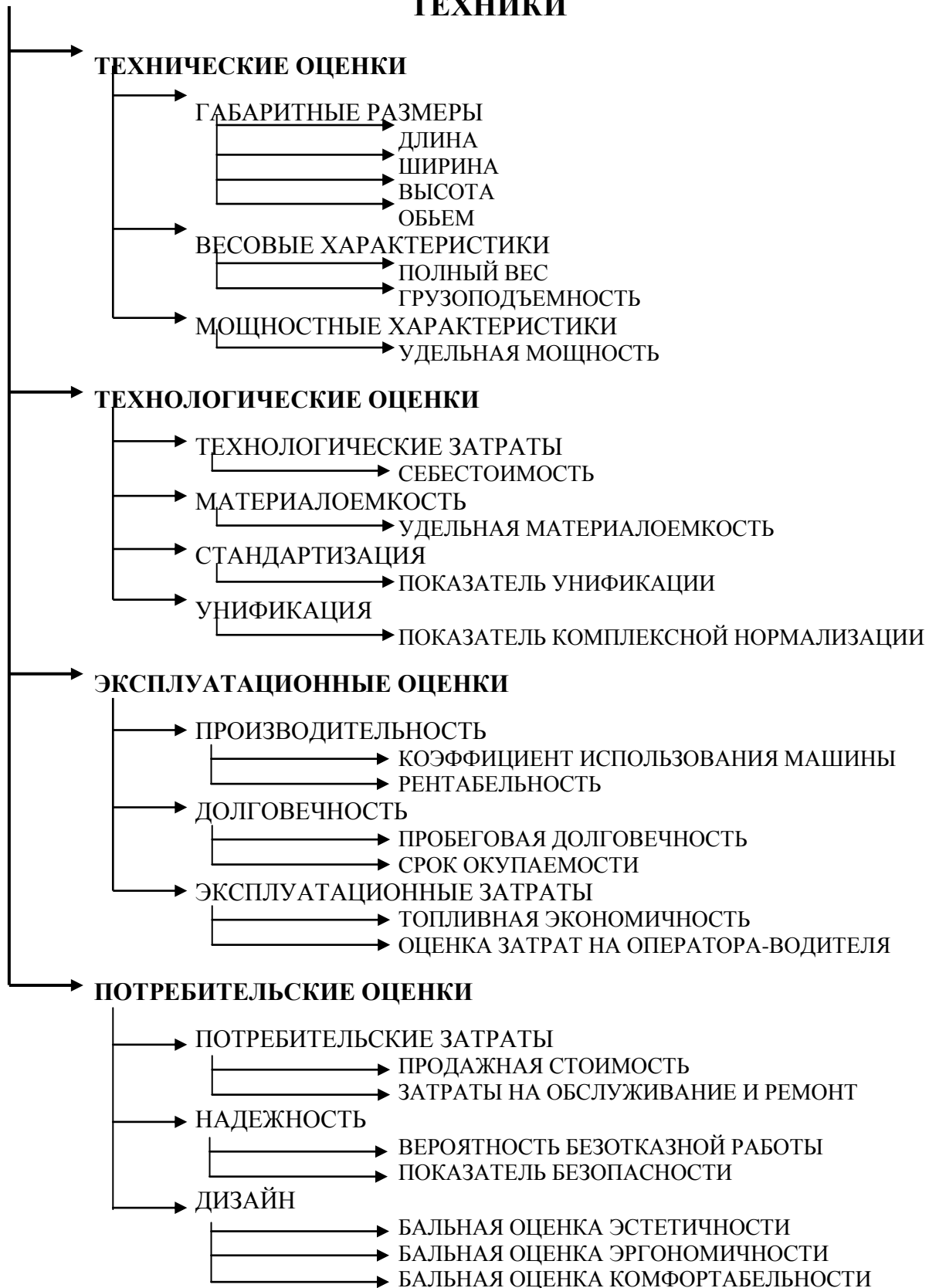


Рис. 11. Дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин

Тогда экспресс-модель конкурентоспособности машины с разбивкой по конструкционным блокам в общем виде может быть представлена следующей системой уравнений:

$$a_{\kappa i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (33)$$

$$a_{\vartheta i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (34)$$

$$a_{\rho i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (35)$$

$$a_{\tau i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (36)$$

$$a_{Ri}(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (37)$$

$$a_{Ci}(\lambda) \rightarrow \min; \quad \lambda \in \Lambda \quad (38)$$

$$\Delta P_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (39)$$

$$v(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (40)$$

$$\Xi(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (41)$$

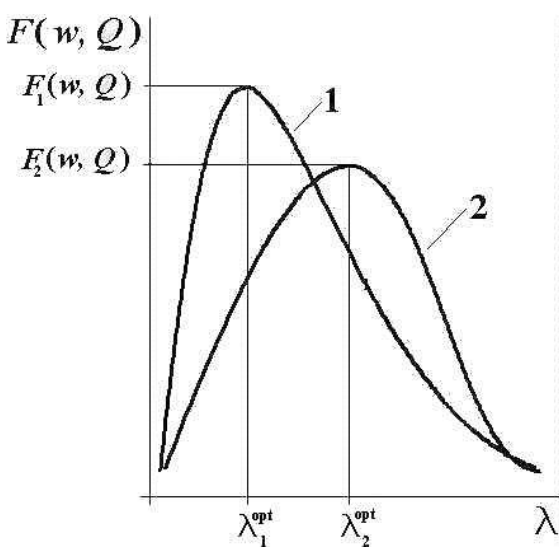
$$\Pi(\lambda) \rightarrow \text{extr}. \quad \lambda \in \Lambda \quad (42)$$

Здесь $a_i(\lambda) \in A$, ($i=1,2,\dots,11$); $\lambda = \xi(\lambda_{\kappa}, \lambda_{\vartheta}, \lambda_{\rho}, \lambda_{\tau}, \lambda_{\Pi})$ при $\lambda_{\kappa} = \text{var}$, $\lambda_{\vartheta} = \text{var}$, $\lambda_{\rho} = \text{var}$, $\lambda_{\tau} = \text{var}$, $\lambda_{\Pi} = \text{var}$. Целевые функции (39)–(42) относятся к машине в целом.

Обобщенная целевая функция многокритериальной оптимизации представляется в виде аддитивного критерия с весовыми коэффициентами и нормированными функциями частных критериев:

$$F(w, Q) = \text{extr}_{\lambda \in \Lambda} \left\{ w_1 N_{\varphi}(\lambda) + w_2 N_v(\lambda) + w_3 N_{\rho}(\lambda) + w_4 N_{\vartheta}(\lambda) + \sum_{i=1}^{11} \left[w_{\kappa i} N_{\kappa i}(\lambda) + w_{\vartheta i} N_{\vartheta i}(\lambda) + w_{\rho i} N_{\rho i}(\lambda) + w_{\tau i} N_{\tau i}(\lambda) + w_{Ri} N_{Ri}(\lambda) + w_{Ci} N_{Ci}(\lambda) \right] \right\}. \quad (43)$$

Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации, представлена на рис. 12.



Машина 1



Машина 2

Рис. 12. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации

Из рис. 12 видно, что наилучшей является первая машина, у которой $F_1(w, Q) > F_2(w, Q)$ и, следовательно, характеристики, объединенные в совокупности λ_1^{opt} , предпочтительней чем λ_2^{opt} . Однако данные зависимости не могут дать четкого представления, какие же факторы повлияли на качество разрабатываемой концепции. Таким образом, целесообразно построить изменение данных зависимостей от совокупностей $\lambda_k, \lambda_\varepsilon, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\Pi$, а далее от конкретных элементарных параметров $\lambda_{ki}, \lambda_{\varepsilon i}, \lambda_{pi}, \lambda_{Ti}, \lambda_{\Pi i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

Заключение

Результаты экспериментально-теоретических исследований коллектива авторов данной статьи использованы в НИР, выполненных в рамках грантов и государственных контрактов:

– грант SfP-973799 Semiconductors Программа НАТО Наука для Мира «Разработка радиационно-стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа» (Отделения Науки НАТО, программа «Наука для Мира», 2002 – 2003 гг);

– № П460 «Разработка инновационных технологий и методов управления наземными транспортными средствами, повышения их энергоэффективности и безопасности»;

– № 14.740.11.0972 «Разработка и исследование инновационных конструкций, процессов управления и ресурсосберегающих технологий повышающих эффективность и безопасность автотранспортного комплекса»;

– П2561 «Создание энергоэффективных двигателей транспортных средств на основе анализа процесса их взаимодействия с опорной поверхностью в различных дорожных условиях и на бездорожье»;

– № 16.516.11.6023 «Создание экспериментального образца специального транспортного средства северного исполнения на шинах сверхнизкого давления для работы на слабо-несущих опорных поверхностях»;

– № 14.740.11.0943 «Разработка, исследование и создание типоразмерного ряда инновационных многоступенчатых синхронизированных малогабаритных коробок передач с автоматизированным управлением для семейства перспективных грузовых автомобилей»;

– ЕЗН-601 «Разработка теории безопасных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов на основе интеллектуальных систем управления»;

– №П2094 «Теоретические основы процессов взаимодействия двигателей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности двигателей в условиях бездорожья»;

– №14.740.11.0403 «Создание шасси экологически безопасных городских электромобилей с перспективными источниками и накопителями энергии»;

– №02.740.11.5112 «Исследование трансмиссии грузового автомобиля с мехатронной системой управления»;

– №П1624 «Концепция создания интеллектуальных систем, обеспечивающих подвижность транспортных средств в условиях бездорожья»;

– № 12-08-10004-к «Организация и проведение полевых работ по определению характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин»;

– № 14.124.13.1869-МК «Разработка метода повышения эффективности использования транспортно-технологических машин в зимний период на основании экспериментально-теоретических исследований».

Библиографический список

1. Математическая модель комплексной оценки подвижности машин высокой проходимости. SAE Prepr., s. a., № 740426, 24 pp. http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm

2. **Барсов, И.П.** Строительные машины и их эксплуатация / И.П. Барсов, А.П. Станковский. – М.: Стройиздат, 1971. С. 368.
3. **Чобиток, В. В.** Проект отчета НИР «Бегун». Разработка методики оценки подвижности ВГМ. — К.: КТЦ, 1997. Доступ с интернет-проекта Чобитка Василия «Бронесайт» <http://armor.kiev.ua/>
4. Подвижность танков. Научно-метод. сборник, НИЛ-2, 1979 г. Доступ с интернет-проекта Чобитка Василия «Бронесайт» <http://armor.kiev.ua/>
5. **Чобиток, В.А.** Теория движения танков и БМП: учебник / В.А. Чобиток. – М.: Воениздат, 1984.
6. ГОСТ. Подвижность военно-гусеничных машин (ВГМ). Термины и определения (Проект) / Тема 44.1-1.6.58.80. Уточненная редакция, 1980.
7. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических систем // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции / НГТУ. – Н. Новгород, 2000. С. 339-357.
8. **Беляков, В.В.** Управление подвижностью транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции / НГТУ. – Н. Новгород, 2000. С. 392-396.
9. **Беляков, В.В.** Решение задачи оценки подвижности автотракторной техники с помощью многокритериальной оптимизации / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов // «Информационные системы и технологии» (ИСТ-2001): тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции посвященной 65-летию факультета информационных систем и технологий НГТУ Н.Новгород 20 апреля 2001 г. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. С. 167-168.
10. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем: учеб. пособие / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов / НГТУ. – Н.Новгород, 2001. – 271 с.
11. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оценка подвижности автотракторной техники / В.В.Беляков // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001: тр. международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 г. / СПбГТУ. – СПб., 2001. С. 95-99.
12. **Беляков, В.В.** Четыре многокритериальных задачи для оценки подвижности автотракторной техники / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, В.И. Сагунов // Системы обработки информации и управления: межвуз. сб. науч. тр. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. Вып. 8. С. 106-113.
13. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Е.Ю. Голышев // НГТУ, Н.Новгород, 2002. Деп. в ВИНТИ 10.01.02. №28-В 2002.
14. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // Проблемы качества и эксплуатации автотракторных средств: материалы II международной научно-технической конференции (21-23 мая 2002 г.) / ПГАСА. – Пенза, 2002. Ч. 1. С. 23-31.
15. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // Колесные машины: сб. тр. / МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2003. С. 29-30.
16. **Беляков В.В., Бушуева М.Е.** Диагностика сложных технических систем // Труды 1-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors «Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа», апрель 2001 г. Н.Новгород: (ННГУ ил. Н.И.Лобачевского.) ТАЛАМ,2002. С.63-99 (ISBN 5-93496-012-1)
17. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация контролепригодности сложных систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева // Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа, апрель 2002 г.: тр. 2-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors / ННГУ им. Лобачевского. – Н.Новгород: ТАЛАМ, 2002. С. 74-84.
18. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация контролепригодности диагностических систем в условиях нечеткого состояния технических объектов / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева // «Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа», апрель 2003 г.: тр. 3-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors / ННГУ им. Лобачевского. – Н.Новгород: ТАЛАМ, 2003. С. 102-115.
19. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин

- // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: НГТУ, 2003. Т. 5. С3-25.
20. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 961 с.
 21. **Беляков, В.В.** Подвижность и диагностика автотракторной техники // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. Т. 8. С. 3-24.
 22. **Беляков, В.В.** Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа: учеб. пособие / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Ю.И. Молев / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2009. – 330 с.
 23. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2012. №3. С. 162-170.
 24. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4 С. 175-181.
 25. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дис...док.тех.наук: 05.05.03 / Беляков В.В. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
 26. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156-166.
 27. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 143-151.
 28. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков, В.С. Макаров // Известия высших учебных заведений. 2011. №7. С. 24-26.
 29. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3; URL: www.science-education.ru/103-6376 (дата обращения: 05.06.2012).
 30. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. №1. С. 82-87.
 31. **Галкин, Д.А.** Влияние параметров шин на подвижность многоосных колесных машин / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7882 (дата обращения: 24.12.2012).
 32. **Галкин, Д.А.** Математическая модель преодоления разрушаемого уступа многоосной колесной машиной / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 28-29.
 33. **Гончаров, К.О.** Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010 № 6 С. 3-3.
 34. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 29-30.
 35. **Гончаров, К.О.** Оценка влияния экскавационно-бульдозерных эффектов на проходимость многоосных колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Гончаров К.О. – Н. Новгород, 2011. – 263 с.
 36. **Гончаров, К.О.** Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010. № 12. С. 10-10.
 37. **Зайцев, А.С.** Математическая модель преодоления рва многоосной колесной машиной / А.С. Зайцев, Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 39-40.
 38. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; URL: www.science-education.ru/105-6927 (дата обращения: 17.09.2012).

39. Зезюлин, Д.В. Разработка методики выбора конструкционных параметров двигателей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Зезюлин Д.В. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
40. Зезюлин, Д.В. Расчетный анализ влияния параметров двигателей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 41-42.
41. Макаров, В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Макаров В.С. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
42. Макаров, В.С. Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
43. Макаров, В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).
44. Макаров, В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. 2013. №1. С. 150-157.
45. Редкозубов, А.В. О целесообразности моделирования дорог при помощи фрактального исчисления / А.В. Редкозубов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 87-88.
46. Галкин, А.А. Математическая модель преодоления разрушаемого рва многоосной колесной машиной/ Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 6. С. 40-42.
47. Макаров, В.С. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. – 2013. №1. С. 155-160.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

V.V. Belyakov¹, A.M. Belyaev⁵, M.E. Bushueva¹, U.Sh. Vahidov¹,
K.O. Goncharov¹, D.V. Zezyulin¹, V.E. Kolotilin², K.Y. Leliovsky¹,
V.S. Makarov¹, A.V. Papunin⁴, A.V. Tumasov³, A.V. Fedorenko¹

THE CONCEPTION OF MOVABILITY OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES

The Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev,
LLC «InTech»², LLC SPC «DST»³, LLC «Managing Company «GAZ Group»⁴,
LLC «Avtol»⁵

Subject/topic/purpose: Define the movability of mobile land-based transport vehicles and transport-technological complexes.

Methodology of work: An overview and analysis of existing studies on the definition of the concept of movability vehicles.

Results/application: Based on the analytical review formulated the concept of movability. Movability in the context of this article defines a generalized characterization of structural and operational features of land mobile systems and complexes. Together with economic, ergonomic and environmental indicators of quality of these machines mobility characterizes the competitiveness of objects as a commodity.

In the movability is seen as a set of tasks: maintaining exchange rate targeting, speed, survivability and addressing critical situations (slipping and blocking propulsion, stability and rollover terrain vehicles in general).

Findings: The article presents a conceptual paradigm to warrant the concept of movability of mobile ground-based transport vehicles and transport-technological complexes.

Key words: movability, mobility, survivability, dynamic adaptability, service conditions, passing ability.

ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 624.042: 629.5.024

В.И. Сутырин¹, Е.И. Короткая²

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА АМПЛИТУД УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ КОРПУСНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУКТУРИЗАЦИИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград¹,
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, г. Калининград²

Исследованы возможности повышения эффективности построения и анализа квазистатической модели сложной колебательной системы. Результаты исследования учтены при разработке программы ПАРУС-2000. В основу разработки положен метод структуризации, заключающийся в построении преобразованной расчетной схемы, объединяющей ограниченное число расчетных узлов исходного конечно-элементного разбиения анализируемого объекта. Приводятся и анализируются результаты решения тестовых задач. В частности, в статье определяются результаты расчета собственных частот колебаний стержневых конструкций. Полученные частоты сравниваются с частотами, определенными с помощью программ ANSYS и NASTRAN. В статье анализируются погрешности вычислений в зависимости от количества расчетных перемещений.

Ключевые слова: анализ колебаний, корпусные конструкции, метод конечных элементов, квазистатическая модель, прием конденсации.

Введение

Как известно, преимущества квазистатической модели связаны с возможностью эффективного определения амплитуд установившихся вынужденных колебаний сложной колебательной системы. В указанной модели массы конструкции интерпретируются как дополнительные безинерционные линейные упругие связи, обладающие отрицательными жесткостями со значениями, пропорциональными квадрату частоты вынужденных колебаний [1]. В случае применения метода конечных элементов (МКЭ) система разрешающих линейных алгебраических уравнений, учитывающая силы инерции и позволяющая определять амплитудные значения колебаний, приобретает следующий вид:

$$\|C - \omega^2 M\| \{Q\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $\|C\|$ и $\|M\|$ – матрицы коэффициентов жесткости и массы конечных элементов модели конструкции; $\{Q\}$ – амплитудные значения узловых перемещений модели; $\{P\}$ – вектор внешней нагрузки; ω – частота изменения внешней нагрузки. Основная сложность в построении и расчете разрешающей системы уравнений (1) при расчетах корпусных конструкций связана с большим порядком матрицы коэффициентов (МК).

Метод исследования и программная реализация

Одним из эффективных путей решения задачи является структуризация, под которой понимается приведение МК к ограниченному числу взаимосвязанных узлов исходного конечно-элементного разбиения расчетной модели (расчетных узлов) [2]. Подобный прием (называемый также конденсацией, «уплотнением» жесткостей и масс) позволяет значительно

сокращать порядок решаемой задачи, сохраняя при этом преимущества густых сеток конечных элементов.

Средством структуризации могут служить следующие матрично - векторные равенства:

$$\|C_{np} - \omega^2 M_{np}\| = \|C_{pp} - \omega^2 M_{pp}\| - \|C_{pn} - \omega^2 M_{pn}\| \times \|C_{nn} - \omega^2 M_{nn}\|^{-1} \times \|C_{pn} - \omega^2 M_{pn}\|^T, \quad (2)$$

где $\|C_{np}\|$, $\|M_{np}\|$ - матрицы приведенных коэффициентов жесткости и массы; p и n обозначают соответственно сохраняемые и исключаемые степени свободы ($p \ll n$); T - знак транспонирования.

Целью проводимых исследований является эффективная программная реализация преобразований (2), а также, на их основе, алгоритмов анализа динамики конструкций с применением многопроцессорного кластера БФУ им. И. Канта [3]. В докладе рассматривается один из тестовых вариантов разработанной расчетной программы ПАРУС-2000, предназначенной для определения амплитуд и частот собственных колебаний корпусных конструкций.

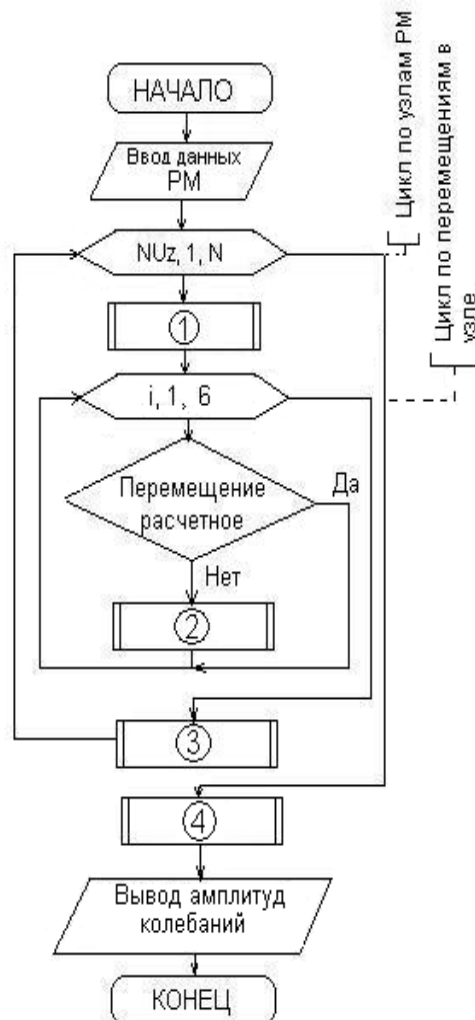


Рис. 1. Блок-схема программы ПАРУС-200

Функциональное назначение блоков программы:

- 1 – формирует матрицу динамической жесткости ансамбля конечных элементов, стыкуемых в рассматриваемом узле; 2 – выполняет исключение перемещения (редукцию) системы;
- 3 – производит вычеркивание исключенных строк (столбцов) матрицы коэффициентов;
- 4 – выполняет решение системы уравнений с приведенной матрицей коэффициентов динамической жесткости, соответствующей расчетным узлам (перемещениям)

В разработанной программе указанные частоты фиксируются в ходе пошагового изменения частоты ω при пиковом возрастании амплитуд вынужденных гармонических колебаний конструкции, определяемых путем решения системы уравнений сравнительно небольшого порядка:

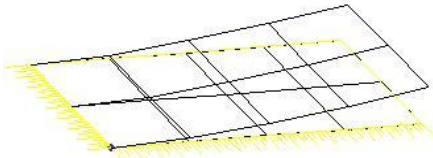
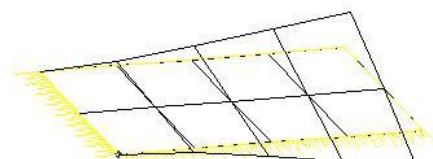
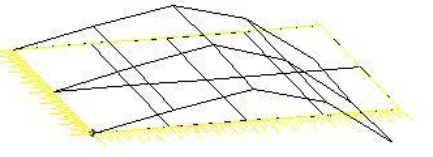
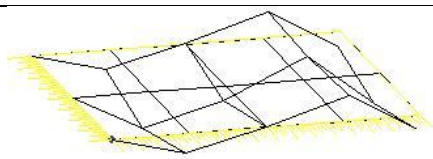
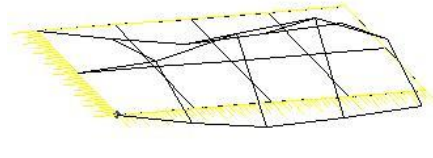
$$\|D_{np}\| \{Q_p\} = \{P_p\}, \quad (3)$$

где $\|D_{np}\| = \|C_{np} - \omega^2 M_{np}\|$ - матрица динамической жесткости расчетных перемещений; Q_p и P_p - подвекторы сохраняемых (расчетных) и исключаемых перемещений, входящие соответственно в векторы $\{Q\} = \{Q_p, Q_n\}^T$ и $\{P\} = \{P_p, 0\}^T$. Блок-схема программы приводится на рис. 1.

Программа реализует фронтальный метод решения системы уравнений, благодаря которому глобальная матрица системы не формируется целиком, а выстраивается и редуцируется фрагментарно [3]. В результате локальный массив коэффициентов динамической жесткости содержит на каждом этапе обработки лишь те коэффициенты, на которые непосредственно распространяется влияние исключаемых компонент системы, что эффективно в программной реализации. Построчная обработка массивов обеспечивает возможности распараллеливания вычислительных операций. Реализовать программу на многопроцессорном кластере планируется на следующем этапе работы.

Таблица 1

Собственные частоты вертикальных колебаний перекрытия

| Мода № | Формы собственных колебаний FEMAP | Hz, ANSYS (Ланцоша, Lanczos) | Hz, ПАРУС |
|--------|---|------------------------------|-----------|
| 1 |  | 9,16 | 9,16 |
| 3 |  | 25,77 | 25,97 |
| 5 |  | 56,60 | 56,83 |
| 9 |  | 152,54 | 154,82 |
| 10 |  | 156,66 | 157,29 |

Результаты и их обсуждение

Тестирование программы проводилось на моделях ряда стержневых систем. В качестве примера представлена модель перекрытия, жестко закрепленного с одной стороны и состоящего из 20 стержней, длиной 0,4м каждый, моментами инерции стержней относительно координатных осей: $I_z = 3,33E-9 \text{ м}^4$, $I_x = 5,33E-8 \text{ м}^4$, $I_y = 5,33E-8 \text{ м}^4$. Материал – сталь с модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$. Предварительно выявлялся спектр собственных частот перекрытия, совершающего свободные колебания. С этой целью использовалась программа ANSYS [4]. Затем перекрытие нагружалось сосредоточенной силой, изменяющейся по гармоническому закону. Сохраняя в узловых точках конструкции (порядок рассматриваемых уравнений был сокращен более чем в четыре раза) лишь вертикальные перемещения и варьируя частоту нагружения можно, решая систему уравнений (3), отследить резонансные частоты вертикальных колебаний перекрытия. С этой целью использовалась специализированная программа ПАРУС. Сопоставление полученных частот приводится в табл. 1.

На рис. 2 представлен график гармонического отклика перекрытия по произвольно выбранным 12 вертикальным перемещениям при действии гармонической вынуждающей силы в диапазоне частот 5–200 Гц. Результаты сопоставления собственных, резонансных частот и гармонических откликов конструкции демонстрируют высокую степень совпадения.

Модель более сложной стержневой системы приведена в табл. 2. Габаритные размеры конструкции составляли 17,5м x 4м x 1м. Материал – сталь с $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $\mu = 0,3$.

Конструкция включала 25 шпангоутных рамок и устанавливалась горизонтальной опорной плоскостью на податливые опоры (дискретное упругое основание с малой жесткостью, имитирующее силовое воздействие жидкости) с коэффициентом жесткости по вертикальному перемещению (z) равным 6,5 кН/м. Главные центральные моменты инерции поперечных сечений стержневых КЭ конструкции, обозначенных в табл. 2, приводятся в табл. 3. Матрицы жесткости и массы стержневых элементов принимались согласно [5].

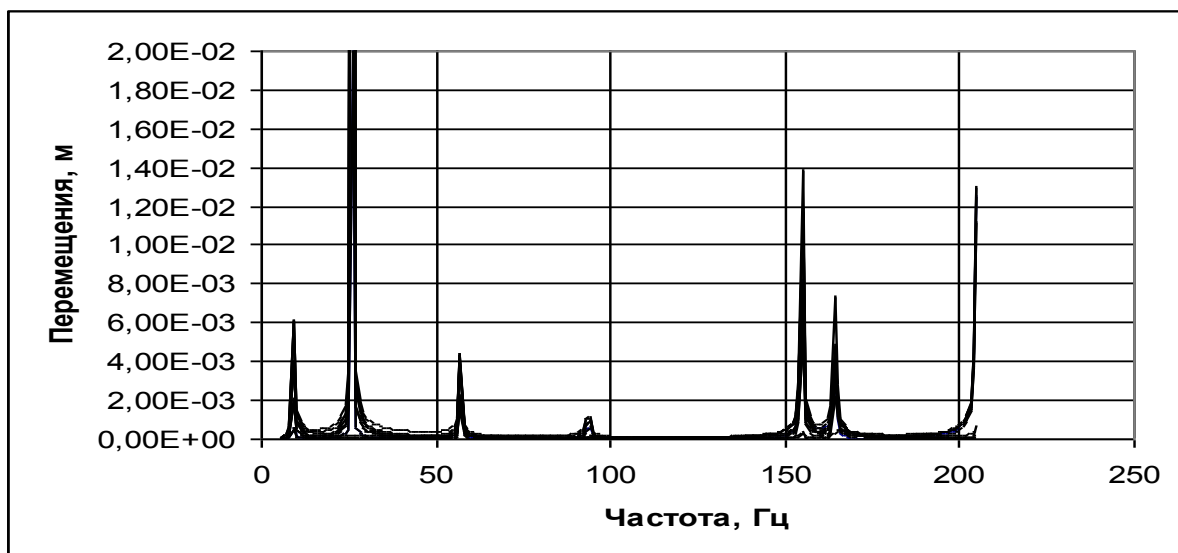


Рис. 2. Гармонический отклик перекрытия по вертикальным перемещениям

Предварительным расчетом коэффициенты динамической жесткости системы приводились к девяти расчетным узлам конструкции (см. табл. 2), равномерно расставленным по опорной плоскости вдоль продольной оси симметрии конструкции. В расчетных узлах сохранялись лишь вертикальные перемещения. Внешняя сосредоточенная сила, прикладывалась по первому вертикальному расчетному перемещению конструкции. В табл. 3 даются результаты расчета четырех первых частот собственных колебаний

стержневой системы. Для сравнения, в табл. 3 приводятся также результаты расчета исходной системы КЭ, полученные по программе FEMAP (NASTRAN) [6].

Таблица 2

Сопоставление собственных частот колебаний пространственной стержневой системы, рассчитанных по программе FEMAP (NASTRAN) и по программе ПАРУС

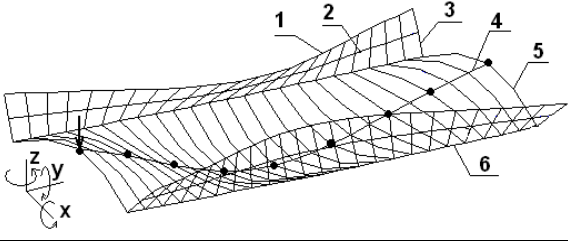
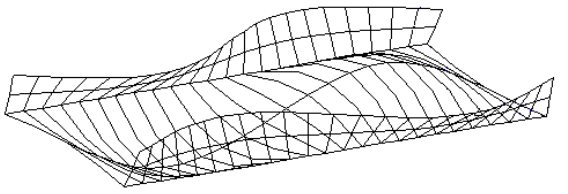
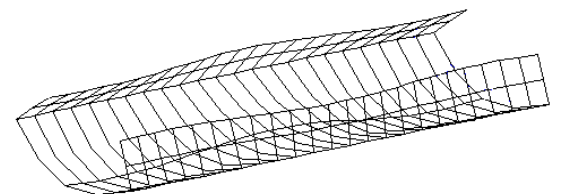
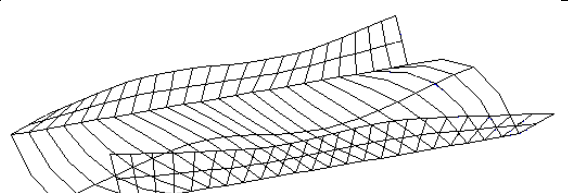
| Формы собственных колебаний FEMAP | Hz, FEMAP (Ланцоша, Lanczos) | Hz, ПАРУС |
|---|------------------------------|-----------|
|  | 6,22 | 6,52 |
|  | 6,72 | 6,79 |
|  | 6,89 | 7,01 |
|  | 7,25 | 7,15 |

Таблица 3

Моменты инерции сечений КЭ конструкции

| № КЭ (табл. 1) | $J_x(y), \text{м}^4$ | $J_y(z), \text{м}^4$ |
|----------------|----------------------|----------------------|
| 1 | $9,34 \cdot 10^{-5}$ | $2,44 \cdot 10^{-6}$ |
| 2 | $3,14 \cdot 10^{-6}$ | $4,17 \cdot 10^{-4}$ |
| 3 | $1,63 \cdot 10^{-6}$ | $1,43 \cdot 10^{-4}$ |
| 4 | $0,33 \cdot 10^{-2}$ | $3,36 \cdot 10^{-6}$ |
| 5 | $1,43 \cdot 10^{-4}$ | $1,63 \cdot 10^{-6}$ |
| 6 | $8,26 \cdot 10^{-4}$ | $1,54 \cdot 10^{-4}$ |

Погрешности вычислений расчетных узловых перемещений (%) анализировались в сравнении с расчетами по традиционной схеме МКЭ, для которой, как известно, расчетными являются все перемещения стержневой системы. Результаты анализа погрешностей для различных порядков исходной и преобразованной расчетной схемы приводятся на рис. 3 и 4. Общий порядок стержневой системы наращивался путем увеличения числа шпангоутных рамок при постоянной длине конструкции. Номера сохраняемых расчетных перемещений преобразованной расчетной схемы выбирались путем генерации случайных чисел.

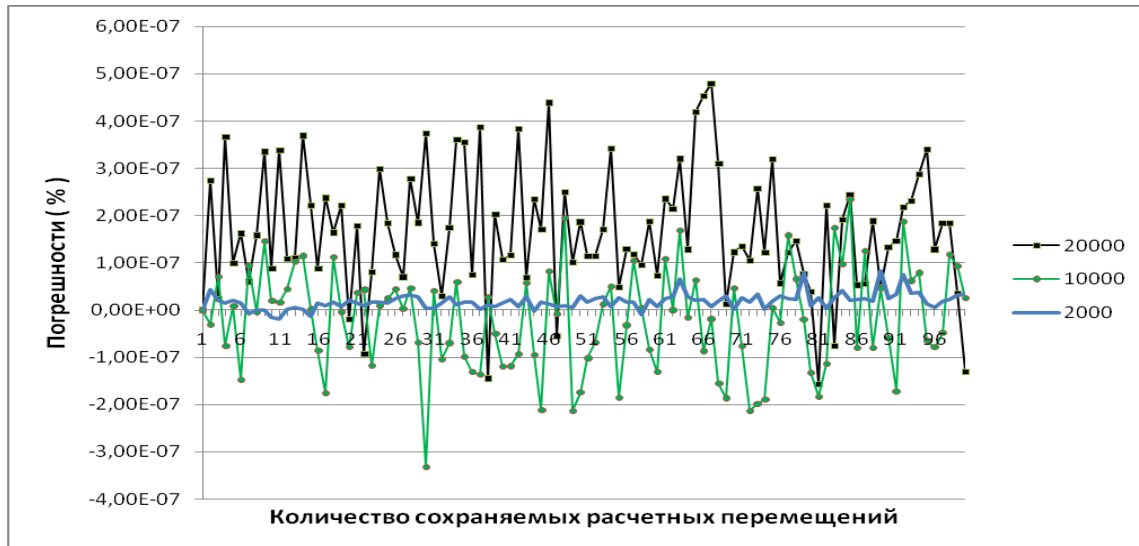


Рис. 3. Зависимость погрешностей вычислений (% к расчету по традиционной схеме МКЭ) при частоте изменения внешней силы $\omega = 6$ Гц в зависимости от порядка исходной системы уравнений (2000 – 20000) и количества сохраняемых расчетных перемещений (1 – 100)

Выводы

Метод приведения, применяемый в решении квазистатической задачи, является эффективным средством сокращения порядка разрешающей системы уравнений. Получаемая при его использовании преобразованная расчетная схема может служить инструментом фильтрации собственных частот и перемещений при анализе сложной колебательной системы. Метод реализован в расчетной программе, назначение которой состоит в формировании и анализе преобразованной расчетной схемы пространственной конечно-элементной модели конструкции.

Проведенные исследования подтвердили возможности сохранения высокой точности получаемого результата, что позволяет рекомендовать изложенную расчетную методику для использования в целях проектирования и прогнозирования поведения судовых конструкций под действием нагрузок, меняющихся во времени.

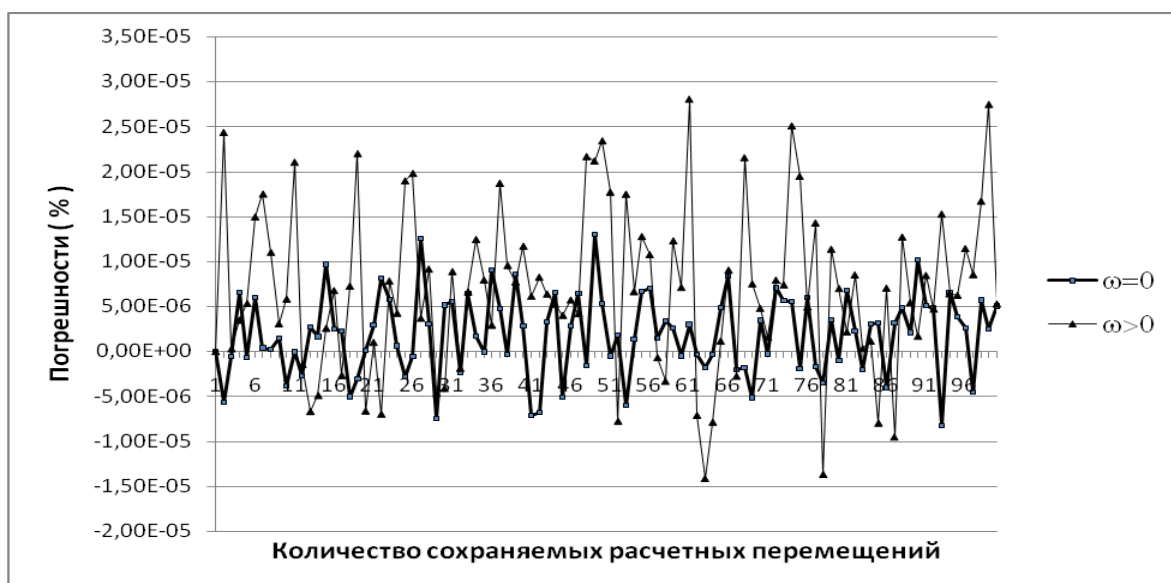


Рис. 4. Сравнение погрешностей вычислений (% к МКЭ) при частоте изменения внешней силы $\omega = 6$ Гц и $\omega = 0$ (без учета матрицы масс); порядок исходной системы уравнений 4×10^4

Библиографический список

1. **Чувиковский, В.С.** Численные методы расчетов в строительной механике корабля / В.С. Чувиковский. – Л.: Судостроение, 1976. – 222 с.
2. **Шиманский, Ю.А.** Динамический расчет судовых конструкций / Ю.А. Шиманский. – Л.: Судпрогиз, 1948. – 407 с.
3. **Сутырин, В.И.** Методология конечно-элементного анализа судовых корпусных конструкций при их проектировании // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. №2 (81). С. 171–178.
4. **Чигарев, А.В.** ANSYS для инженеров: справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение – 1, 2004. – 512 с.
5. **Постнов, В.А.** Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций / В.А. Постнов, И.Я. Хархурим. – Л.: Судостроение, 1974. – 340 с.
6. **Шимкович, Д.Г.** Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.

*Дата поступления
в редакцию 18.06.2013*

V.I. Sutyryn¹, E.I. Korotkaya²

**THE PROGRAM FOR CALCULATING OF THE STEADY VIBRATIONS AMPLITUDE
OF SHIP HULL STRUCTURES USING STRUCTURIZATION QUASISTATIC MODEL**

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad¹,
Baltic State Academy of Fishing Fleet, Kaliningrad²

In paper possibilities of increase of effective construction and analysis of quasistatic model of difficult oscillatory system were investigated. Results of research are considered in developed program the SAIL-2000. The structurization method is in a basis of development, it consists in construction of the transformed settlement scheme and unites limited number of checkouts of initial final-element splitting in analyzed object. Also results of the solution test tasks are presented and analyzed in paper. In particular, the calculation results of own frequencies fluctuations of rod designs are defined in paper. The received frequencies are compared to the frequencies which are determined by the ANSYS and NASTRAN programs. The inaccuracies of calculations depend on the number of settlement movements and are analyzed in paper.

Key words: Fluctuation analysis, ship hull structures, finite elements method, quasistatic model, condensation reception.

УДК 629.5.01

Май Ван Куан

СПАСАТЕЛЬНЫЕ СУДА И ВОПРОС ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА В МИРЕ И ВО ВЬЕТНАМЕ

Социалистическая Республика Вьетнам

В данной статье рассмотрено развитие мирового морского флота судов, их роль в экономике. Также рассмотрены аварийность на море, применение спасательных судов в обеспечении безопасности морских операций. На основе анализа роли водного транспорта и обзора аварийно-спасательного флота Вьетнама, рассмотрен вопрос проектирования и постройки спасательных судов для Вьетнама.

Ключевые слова: мировой транспортный флот, аварийность на море, спасательные суда, спасательные буксиры, Вьетнам.

1. Морской транспорт и аварийность на море

Поверхность нашей планеты Земля на 3/4 омыта водой – океанами, морями, реками, озерами, ледниками. Особая роль в транспортной системе стран принадлежит морскому транспорту. Он выполняет важную функцию, обеспечивая морские внутренние и международные связи стран. Во второй половине XX века и в начале XXI века развитию морского транспорта способствовали: появление значительного территориального разрыва между районами производства и потребления, увеличение зависимости большинства экономически развитых стран от заморских поставок топлива и сырья, а также от сбыта собственной продукции.

Морским транспортом перевозится большая часть грузов по всему миру. Особенно это касается наливных грузов, таких как сырая нефть, нефтепродукты, сжиженный газ и продукты химической промышленности наливом. По морским торговым путям ежегодно перевозят товары стоимостью более 1,5 млрд долл. А в суммарном мировом грузообороте доля морского транспорта составляет 62% [2]. На рис. 1 приведена структура мирового грузооборота.

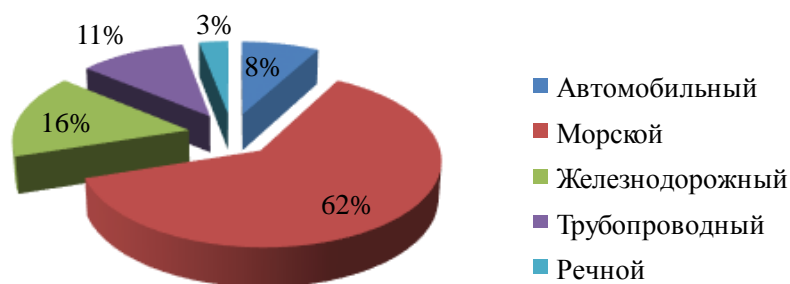


Рис. 1. Структура мирового грузооборота

Морской транспорт играет особенную роль международной экономики. Неудивительно, что в целом в мире судоходство обеспечивает транспортными услугами примерно 80% международных экономических связей. Для некоторых стран такой показатель увеличился больше. Примерно в Великобритании и Японии морской транспорт обслуживает 98% всех внешнеторговых перевозок, в США - 90%. На рис. 2 приведено развитие мирового морского транспорта в последние годы.

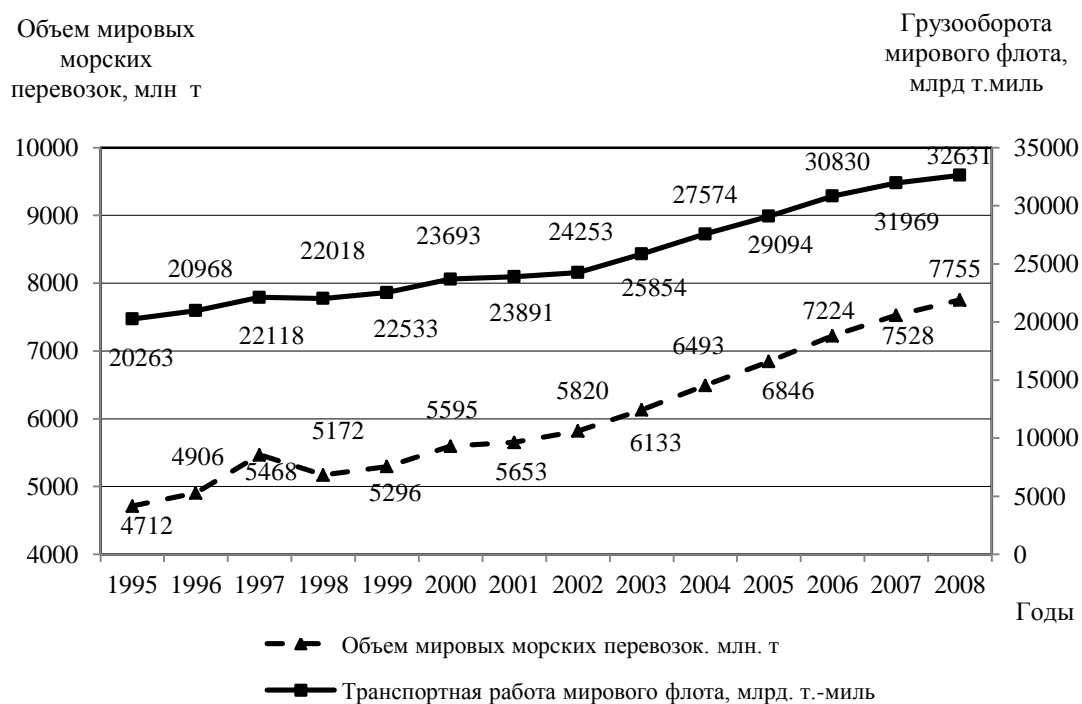


Рис. 2. Развитие мирового морского транспорта в последние годы

Данный график свидетельствует об очень быстром росте морских перевозок в последние годы. Объем мировых морских перевозок достиг 550 млн т в 1950 г., 1110 млн т в 1960 г., 2480 млн т в 1970 г., 3650 млн т в 1980 г. и 4000 млн т в 1990 г. В 2010 г. морским транспортом было перевезено 8400 млн т груза. В период от 1950 г. до 2010 г. транспортная работа мирового флота увеличилась в девять раз, а объем перевозимых грузов – более чем в 16 раз.

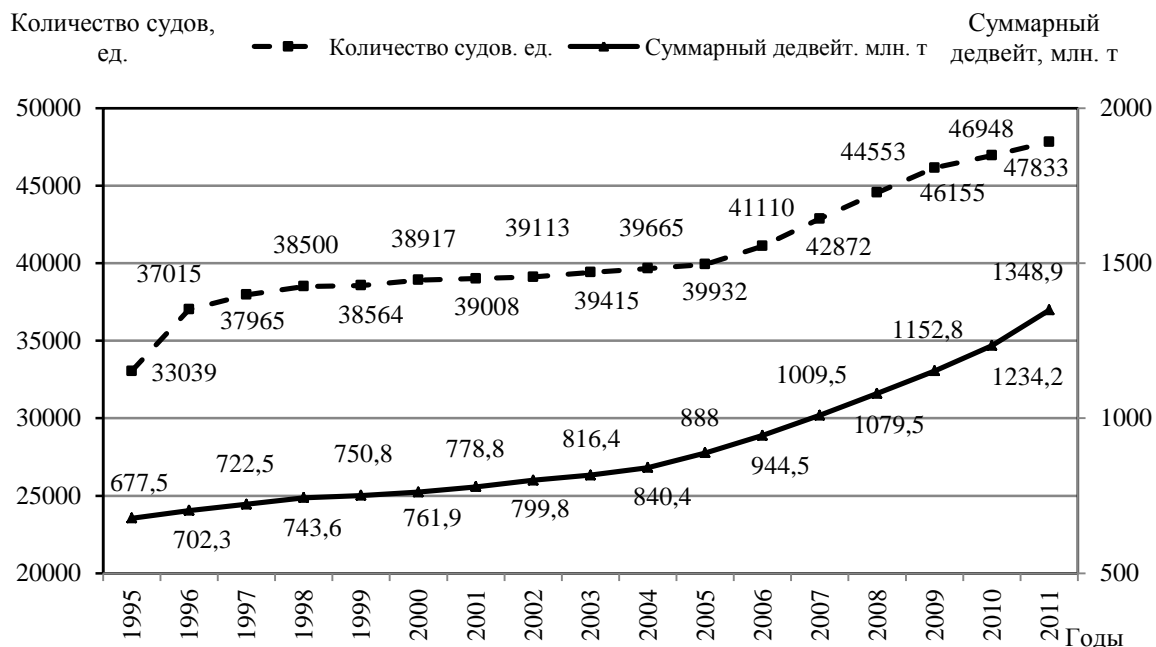


Рис. 3. Развитие мирового транспортного флота в последние годы

Для удовлетворения растущего во всех странах спроса на морские перевозки, развитие мирового транспортного флота идет интенсивно. Динамика роста в последние годы продемонстрирована на рис. 3. по данным International Association Of Classification Societies Ltd (IACS) [3].

В 1950 г. в мире насчитывалась 31 тыс. морских судов, а в начале 2010 г. их количество превысило 100 тыс. Однако если учитывать только суда грузоподъемностью свыше 300 т, то их общее число составит примерно 46 тыс.

Вьетнам – государство в Юго-Восточной Азии, расположенное на берегу Южно-Китайского моря. Вьетнам имеет большой потенциал для развития морской экономики. *Во-первых*, Вьетнам имеет морскую границу длиной 3260 км и морскую зону площадью около 1000000 км². *Во вторых*, Вьетнам находится на самом оживленном морском пути, - на пересечении Атлантического и Индийского океанов, - соединяющим Европу с Азией. Ежедневно 150-200 судов проходит через Южно-Китайское море, и около 50% грузов со всего мира транспортируется через данную морскую артерию.

Кроме этого, на морской территории Вьетнама существует более чем 3000 больших и малых островов, с площадью около 1636 км². На береговом побережье располагаются 29 из 64 провинций и городов с населением около 20 млн человек, в том числе 17 тыс. человек, живущих на островах. Кроме этого, на всей территории Вьетнама существуют 2860 больших и малых рек. И вдоль побережья имеется 112 речных выходов на море. Водный транспорт является популярным видом во Вьетнаме.

Таким образом, водный транспорт играет большую роль во Вьетнаме. На рис. 4-5 приведено количество судов, проходящих через вьетнамские порты, а также количество перевозимых через вьетнамские порты грузов.



Рис. 4. Количество судов, проходящих через порты Вьетнама в последние годы

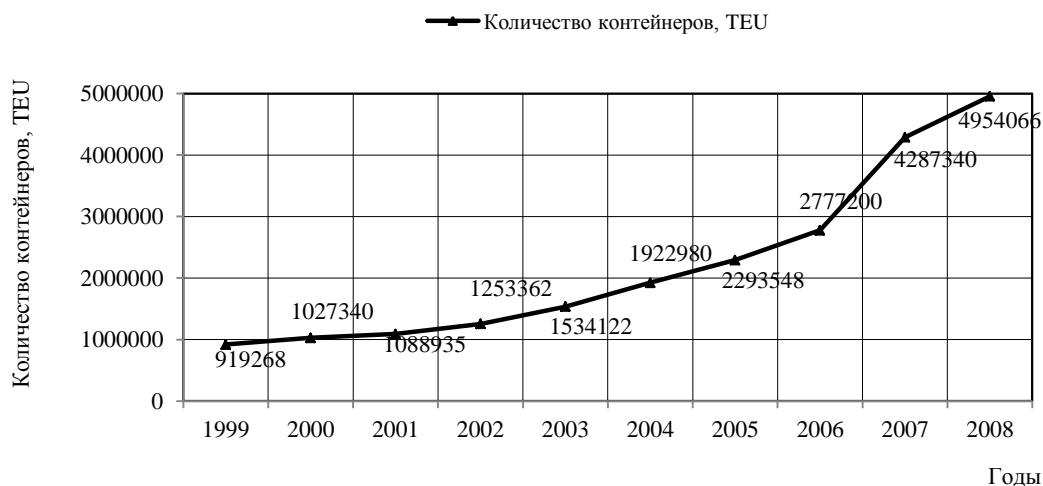


Рис. 5. Количество контейнеров, проходящих через порты Вьетнама в последние годы

Несмотря на постоянное развитие методов, способов и технических средств обеспечения безопасности мореплавания, ежегодно более 200 крупных судов терпят кораблекрушение. Ежегодно в мире погибает свыше 2000 человек, теряется более миллиона тонн грузов, в морскую среду попадают нефтепродукты и другие загрязняющие вещества.

По данным European Maritime Safety Agency, в водной зоне стран Евросоюза и вокруг нее произошли 762 случая морских катастроф в 2007 г., 754 – в 2008 г., 626 – в 2009 г. и 644 – в 2010 г. Количество морских катастроф и их причины представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество и причины катастроф судов

| Причина/Год | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------------------|------|------|------|------|
| Утопление | 55 | 61 | 28 | 32 |
| Столкновение/Контакт | 304 | 308 | 292 | 288 |
| Посадка на мель | 197 | 217 | 177 | 143 |
| Пожар/Взрыв | 91 | 89 | 67 | 83 |
| Другие | 115 | 79 | 62 | 98 |
| Итого | 762 | 754 | 626 | 644 |

Во Вьетнаме в связи с развитием водного транспорта увеличивается количество морских происшествий. По данным Морского Департамента, в 2011 году произошло 60 аварий судов и морских сооружений. По сравнению с 2010 годом, количество несчастных случаев в 2011 году увеличилось на 17 случаев (60/43). В данных катастрофах количество погибших и пропавших без вести составляет 22 человека, уменьшаясь на 29 по сравнению с 2010 годом. 2 человека получили ранение в 2011 г., а в 2010 г. – 14 человека. Кроме этого, затонули или потоплены 25 водных средств, в том числе три судна, один буксир, 11 внутренних водных транспортных средств, девять траулеров и одна деревянная шлюпка. Основные причины морской аварийности во Вьетнаме следующие:

- столкновение: 30 случаев, из них 18 связано с судами Вьетнамского флага, 17 – с судами иностранного флага, 6 – с внутренними водными транспортными средствами и с 3 траулерами. 13 из 30 случаев произошло на море, остальные – около портов или на проходе к порту;
- контакт: 14 случая, в том числе 8 случаев – контакт к причалу и 2 случая – контакт с военными кораблями на стойке;
- утопление: 7 случаев, в том числе 4 морские суда и 3 внутренние водные транспортные средства;
- посадка на мель: 6 случаев;
- пожар: 1 случай;
- Другие причины: 2 случая.

Кроме этого, Вьетнам находится в зоне, подверженной действию штормов. Ежегодно в Южно-Китайском море регистрируется от 12 до 15 случаев штормовых катастроф, приносящих колоссальный урон. Например, в результате шторма Тянтью (май 2006) погибли 28 человек, 250 человек пропали без вести, 14 судов были затоплены и 4 судна исчезли бесследно.

Таким образом, обеспечение безопасности на море является актуальным вопросом для всех морских стран, в том числе – Вьетнама.

2. Спасательные суда и их назначения. вопрос проектирования и постройки спасательных судов для Вьетнама

Для обеспечения безопасности на море, кроме повышения мореходных качеств судов и установления на них спасательных средств, организация спасения на море играет значительную роль. В России задачу поиска и спасания, терпящих бедствие судов и кораблей на море выполняют

департамент морского транспорта Минтранса России. В настоящее время на морских бассейнах функционируют шесть государственных морских спасательно-координационных центров и три морские спасательные подцентры. Итоги деятельности российской системы поиска и спасания на море за период с 2001 по 2011 гг. показаны в табл. 2 [5].

Поиск и спасание на море терпящих бедствие судов и кораблей в США возлагается на береговую охрану, имеющую около 250 боевых кораблей, катеров, спасательных и вспомогательных судов, примерно 160 самолетов и вертолетов. Кроме того, в США имеются более 156 береговых спасательных станций и общество добровольного содействия береговой охраны с 2000 спасательными катерами с дальностью плавания от 50 до 200 миль.

Таблица 2

Итоги деятельности МСКЦ, МСПЦ России за 2001-2011 г.

| Показатели/Год | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | Итого 2001-2011 | |
|----------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|----|
| Всего аварийных случаев | 275 | 325 | 187 | 211 | 267 | 298 | 302 | 182 | 234 | 255 | 179 | 2715 | |
| Поиско-спасательные операции | 149 | 131 | 144 | 146 | 128 | 152 | 151 | 57 | 59 | 33 | 103 | 1253 | |
| Всего спасено людей | 777 | 1478 | 728 | 1188 | 341 | 783 | 1089 | 335 | 315 | 413 | 421 | 7868 | |
| Из них иностранцев | 54 | 99 | 30 | 76 | 98 | 55 | 89 | 113 | 22 | 9 | 131 | 776 | |
| Проведено учений | Бассейновых | 10 | 6 | 3 | 6 | 5 | 10 | 6 | 7 | 2 | 5 | 9 | 69 |
| | Международных | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 | 13 | 5 | 9 | 2 | 4 | 3 | 46 |
| Участие в учениях | Бассейновых | 9 | 13 | 2 | 0 | 24 | 7 | 5 | 3 | 3 | 3 | 10 | 79 |
| | Международных | 5 | 5 | 4 | 2 | 16 | 8 | 3 | 8 | 6 | 6 | 10 | 73 |
| Обработано аварийных сообщений | 690 | 899 | 595 | 705 | 789 | 832 | 712 | 739 | 488 | 402 | 424 | 7275 | |
| из них ложных | 590 | 763 | 533 | 608 | 724 | 719 | 584 | 664 | 465 | 334 | 348 | 6332 | |
| Участие в международных встречах | 2 | 0 | 1 | 7 | 27 | 24 | 24 | 11 | 9 | 23 | 18 | 146 | |
| Эвакуация больных | 0 | 0 | 4 | 33 | 26 | 41 | 51 | 34 | 40 | 51 | 47 | 327 | |
| Медицинские консультации на море | 23 | 11 | 25 | 21 | 20 | 18 | 22 | 24 | 31 | 34 | 39 | 268 | |
| Участие в оказание помощи судам | 0 | 57 | 42 | 38 | 33 | 50 | 57 | 49 | 119 | 81 | 126 | 652 | |

Поиском и спасанием на море терпящих бедствие судов и кораблей в Японии занимается в основном морская служба безопасности (МСБ). Водная территория Японии разделена на 11 районов под ответственностью МСБ. Основной задачей МСБ является спасание людей и имущества во всей водной территории страны – в прибрежных, удаленных морских районах и на континенте. В состав морской службе безопасности Японии входят около 500 корабельных спасательных единиц и 60-70 авиационных спасательных единиц, позволяющие ей успешно выполнять функцию поиска и спасания, терпящих бедствие кораблей и судов, во всех районах.

А во Вьетнаме Государственный комитет по поиску и спасению пострадавших был основан в 1996 году. Комитет отвечает за руководство и организацию осуществления поиска - спасения людей и транспортных средств (самолетов, кораблей, катеров и плавучих буровых установок), попавших на аварийность в воздухе, на море и на прилегающих к нему зонах ответственности Вьетнама и других стран. Комитет имеет право мобилизации и организации

координационных сил, средств министерств, отраслей, населенных пунктов и других обществ для срочного поиска и спасения. Сегодня во Вьетнаме существует четыре центра по поиску и спасению пострадавших, расположенных в г. Хайфон, г. Дананг, г. Вунгтау и на островах Спратли.

При проведении морских спасательных работ, спасательные суда играют большую роль. Первые суда, специально предназначенные для спасания судов, терпящих бедствие, их команды и пассажиры, были созданы в 60–70-х годах XIX века. В XIX в. спасательные операции выполняли переоборудованные, устаревшие для боевого использования военные корабли. Только с конца XIX в., спасением на море стали заниматься частные предприниматели, постепенно объединявшиеся в промышленные компании и ассоциации [1].

Спасательные суда могут выполнять следующие операции:

- спасение людей на судах, терпящих аварию;
- тушение на судах пожаров;
- снятие аварийного судна с мели;
- буксировка аварийного судна на базу;
- спасательное обеспечение буровых работ.

Для выполнения таких работ спасательное судно должно обладать достаточно высокой скоростью хода, быть оборудовано совершенными устройствами и приборами, иметь надежные средства для поиска аварийного судна, обладать хорошими маневренными качествами.

Таблица 3

Основные характеристики спасательных судов Вьетнама

| Номер по пор. | Название | Длина расчетная (м) | Ширина расчетная (м) | Высота борга (м) | Осадка (м) | Скорость (уз) | Главные двигатели (л. с.) | Водоизмещени е полное (т) |
|---------------|--|------------------------|-------------------------|---------------------|------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Спасательное судно Da Tuong | 29.65 | 9.32 | 4.53 | 3.78 | 12 | 2x1600 | |
| 2 | Спасательное судно CH 305 | 23.00 | 5.80 | 2.20 | 1.60 | 8 | 2x425 | |
| 3 | Спасательный буксир Dai Lanh | 52.03 | 11.30 | 5.35 | 4.71 | 9 | 2x3000 | 1947 |
| 4 | Спасательный буксир An Bang | 56.39 | 13.81 | 6.88 | 5.98 | 14 | 2x3520 | |
| 5 | Поиско-спасательное судно SAR 27-01 | 26.42 | 6.00 | 3.00 | 1.48 | | 4x700 | 102.1 |
| 6 | Поиско-спасательное судно SAR 272 | 25.45 | 5.92 | 3.35 | 1.66 | 19 | 2x1200 | 104.5 |
| 7 | Поиско-спасательное судно SAR 273 | 25.45 | 5.92 | 3.35 | 1.66 | 19 | 2x1200 | 104.5 |
| 8 | Поиско-спасательное судно SAR 413 | 39.00 | 7.00 | 3.77 | 2.15 | 26 | 2x3150 | 254.5 |
| 9 | Спасательный буксир CSB 9001, пр. DST4612 | 41.00 | 12.00 | 5.50 | 4.00 | 12.5 | 2x1750 | 1300 |
| 10 | Многоцелевое спасательное судно пр.5212 | 47.00 | 12.00 | 5.50 | 4.00 | 13.8 | 2x1775 | 1400 |
| 11 | Многоцелевое спасательное судно пр. L146 | 38.50 | 9.80 | 4.00 | 3.20 | 10.5 | 2x855 | |
| 12 | Спасательное судно CH 20 | 37.40 | 9.60 | 5.00 | 4.20 | 14 | 2x735 | 811 |

Аварийно-спасательный флот Вьетнама оснащен современными судами в последние годы. В табл. 3. приведены основные характеристики спасательных судов Вьетнама [4].

Типичным спасательным буксиром Вьетнама является проект DST4612 (рис. 6), проектированный Голландской компанией Damen. По контракту между Damen и

Вьетнамской верфью «Осенняя Речка» будет строиться всего четыре буксира такого проекта для Морской Полиции Вьетнама. Последний буксир был спущен на воду в конце 2012 г. А три предыдущие буксиры сдали в 2005, 2007 и 2011 годах.



Рис. 6. Спасательный буксир CSB 9001, пр. DST4612

Спасательные буксиры пр. DST4612 имеют возможность удовлетворения требований по поиску и спасению рыбаков, защите суверенитета, обеспечению безопасности на море и на континентальных шельфах воды, находящихся под суверенитетом Вьетнама. Суда могут работать в любых погодных условиях, на всех уровнях волны с автономностью до 30 дней на море.

Однако в настоящее время, у аварийно-спасательного флота Вьетнама есть недостатки: количество спасательных судов не велико, спасательные суда обладают невысокой скоростью, небольшой дальностью и недлительной автономностью. Кроме этого, они не имеют способность выполнять сложные спасательные операции и оказать помощь большим аварийным судам. Так что, вопрос о проектировании и постройке спасательных судов, оборудованных современной техникой и обладающих высокой скоростью, остается крайне актуальным для Вьетнама.

Библиографический список

1. **Гурович, А. Н.** Проектирование спасательных и пожарных судов / А.Н. Гурович, А.А. Родионов. – Л.: Судостроение, 1971.
2. Обзор морского транспорта 2004, 2005, 2006, 2007, 2007, 2009, 2010 годы: докл. секретариата ЮНКТАД.
3. International Association Of Classification Societies: [http:// www.iacs.org.uk](http://www.iacs.org.uk)
4. Вьетнамский Морской Регистр: <http://www.vr.org.vn>
5. Государственная морская аварийная и спасательно-координационная служба Российской Федерации: <http://www.gmssr.ru/>

*Дата поступления
в редакцию 18.06.2013*

Mai Van Quan

SALVAGE VESSELS AND QUESTION OF SEA TRANSPORT SAFETY IN THE WORLD AND IN VIETNAM

In this article the development of the international maritime fleet and their role in the economy are considered. Further accidents at sea, the use of salvage vessels in maritime security operations are described. On the base of the analysis of the water transport role and review salvage fleet of Vietnam, the question of salvage vessels design and building for Vietnam is considered.

Key words: world transport fleet, accident at sea, salvage vessels, salvage tugs, Vietnam.

УДК 629.124.791.2.039

В.А. Зуев, Н.М. Семенова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАТФОРМ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ В ПОЛЕ МЕЛКОБИТОГО ЛЬДА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена задача взаимодействия платформы на воздушной подушке с битым льдом. Приведены результаты модельных испытаний в шуге.

Ключевые слова: ледовые условия, сопротивление, битые льды, ледокольное судно на воздушной подушке, физико-механические характеристики.

Рассмотрим движение платформы на воздушной подушке (ПВП) в мелкодисперсном слое битого льда (шуге). В таком слое, состоящим из уплотненного снега и мелкобитого льда, распором льдин, связанных с их поворотом и другими аналогичными взаимодействиями, можно пренебречь.

Будем рассматривать плоскую задачу о взаимодействии плоского контура, составленную из носовой и кормовой поверхности гибкого ограждения (ГО) и подкупольного пространства с битым льдом. Будем полагать, что даже при весьма низких скоростях движения контура происходит отрыв слоя битого льда от кормовой поверхности ГО. Это подтверждается многочисленными экспериментами и обусловлено малыми скоростями всплытия притопленных льдин. Так, даже без учета сопротивления и присоединенных масс период свободных вертикальных колебаний льдин достаточно велик ($T = 2\pi\sqrt{\rho_{\text{л}}h/\rho_{\text{в}}g}$), и составляет (0,85-1,9) с при толщинах льда (0,2-1,0) м.

При взаимодействии ГО со льдом возможны несколько случаев. Рассмотрим лишь два граничных из них. Первый, показанный на рис. 1, а соответствует обтеканию ГО ПВП, второй (рис. 1, б) соответствует подгибанию (слому) ГО. Пренебрегая гибкостью материала ГО можно считать, что давление льда на ГО в первом случае не превышает давления в ВП, во втором превышает. В частности, при весьма низкой скорости движения, когда динамической составляющей давления можно пренебречь, получим условие, при котором реализуется первый случай:

$$P_{\text{ВП}} > (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})gh, \quad (1)$$

где $P_{\text{ВП}}$ - давление в ВП.

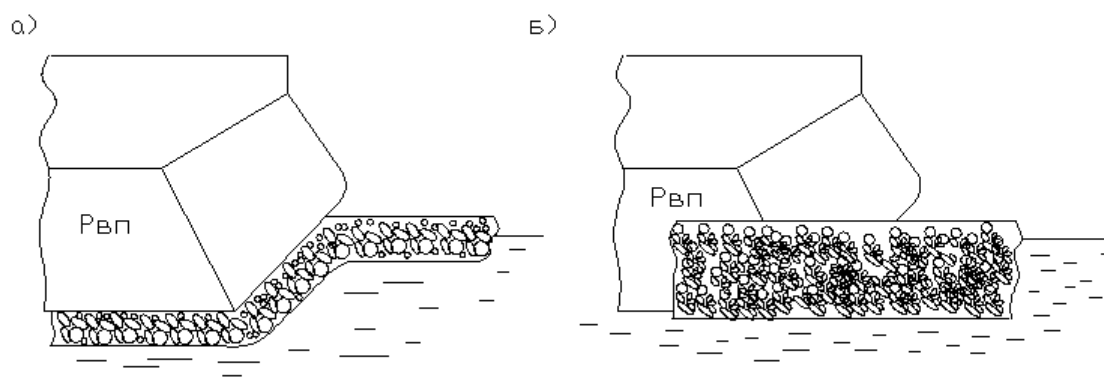


Рис. 1. К схеме взаимодействия ПВП со льдом

Рассмотрим последовательно оба случая взаимодействия ПВП со льдом.

В первом (рис. 2) полное сопротивление ПВП можно представить в виде:

$$R = R_{ст} + R_{д}, \quad (2)$$

где $R_{ст}$ - статическая составляющая сопротивления, обусловленная притапливанием частиц льда, имеющих избыточную плавучесть, и трением частиц и гибкое ограждение (ГО); $R_{д}$ - динамическая составляющая сопротивления.

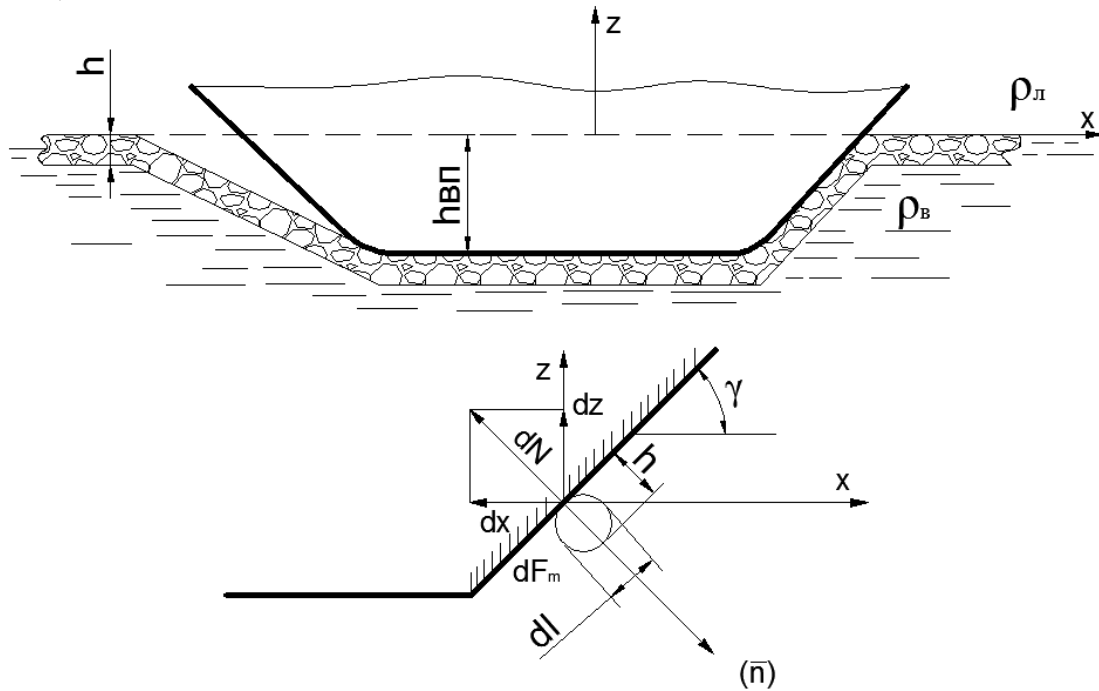


Рис. 2. Взаимодействие ПВП с битым льдом

Статическую составляющую сопротивления представим из двух частей, связанных взаимодействием носовой и боковой ветвями ГО.

Для носовой поверхности вертикальная составляющая запишется в виде:

$$Z = \int_{B_{ВП}} \int_0^{h_{ВП}} \frac{(\rho_с - \rho_л)gkh}{\sin \gamma} dz dy, \quad (3)$$

где $\gamma(Z)$ угол наклона ГО к горизонту; y, z – координаты; k – коэффициент упаковки гранул (мелкобитого льда); $h_{ВП} = \frac{P_{ВП}}{\rho_с g}$ – глубина воздушной впадины.

Если носовая поверхность ГО, взаимодействующая со льдом, плоская и форма ВП в плане прямоугольная, то получим

$$Z = \frac{(\rho_с - \rho_л)}{\rho_с} \cdot \frac{khP_{ВП}B_{ВП}}{\sin \gamma}. \quad (4)$$

Горизонтальная составляющая

$$X = z \operatorname{tg} \gamma. \quad (5)$$

Нормальная сила

$$N = z / \cos \gamma. \quad (6)$$

Сила трения битого льда о поверхность ГО:

$$F = fN = fz / \cos \gamma, \quad (7)$$

где f – коэффициент трения материала ГО о лед (или материал его имитирующий);

$$R'_{ст} = X + F \cos \gamma = z(\operatorname{tg} \gamma + f), \quad (8)$$

где z определяется выражением (3) или (4).

Кроме этого, происходит взаимодействие обломков с боковыми элементами ГО, что приводит к дополнительному сопротивлению трения. По аналогии с предыдущим получим

$$R''_{ст} = \frac{2f(\rho_в - \rho_л)P_{ВП} \cdot khL_{ВП} \operatorname{ctg} \gamma}{\rho_л \cos \gamma}. \quad (9)$$

В последнем выражении учтено, что на боковые элементы ГО воздействует и битый лед, не попавший в подкупольное пространство из-за сужения ГО к низу.

Полное статическое сопротивление:

$$R_{ст} = R'_{ст} + R''_{ст}. \quad (10)$$

При определении динамической составляющей сопротивления используем приведенные ранее допущения.

При оценке динамической составляющей сопротивления считаем, что ПВП перемещается над однородным слоем мелкобитого льда постоянной толщины h и плотностью $\rho_л$. При контакте с ГО частицы льда получают в направлении оси Z скорость (рис. 2):

$$v_z = v \operatorname{tg} \gamma, \quad (11)$$

т.е. на элемент льда действует импульс, сообщающий ему поступательное движение в вертикальном направлении.

Очевидно,

$$z_g dt = -dm v_z, \quad (12)$$

где z_g - продольная составляющая; $dm = \rho_л h k dx$; dx – протяженность элемента льда

Отсюда, подставляя, получим

$$z_g = -\rho_л h v^2 k \operatorname{tg} \gamma. \quad (13)$$

Нормальная сила определится выражением

$$N_g = \frac{z_g}{\cos \gamma} = \frac{-\rho_л h v^2 k \operatorname{tg} \gamma}{\cos \gamma}, \quad (14)$$

сила трения от динамических давлений

$$F = f N_g = \frac{-\rho_л h v^2 k \operatorname{tg} \gamma}{\cos \gamma}, \quad (15)$$

динамическая составляющая сопротивления

$$R_g = -(z_g \operatorname{tg} \gamma + f z_g) = -\rho_л h v^2 \operatorname{tg} \gamma (f + \operatorname{tg} \gamma) k. \quad (16)$$

Если наклонная (контактирующая со льдом поверхность) ГО плоская, то дополнительных (к рассмотренным) сил взаимодействия из-за ускоренного движения льда по криволинейной поверхности не возникает ($y'' = 0$).

Ввиду малости скоростей ($Fr < 0,20$), остальными составляющими сопротивления пренебрегаем.

Для проверки адекватности математической модели были проведены специальные опыты в битом льду, представляющим собой гранулы полиэтилена диаметром 4 мм.

В опытовом бассейне поверхность воды покрывалась слоем гранул полиэтилена высокого давления, образующем средние толщины 12, 16, 20, 32 мм. В таких льдах испытывалась модель ПВП с характеристиками ($l_{ВП} \times b_{ВП}$):

- размеры ВП в плане ($l_{ВП} \times b_{ВП}$) = 0,82 × 0,73 м,
- угол наклона ГО $\gamma = 45^\circ$,
- расход воздуха $Q = 0,033 \text{ м}^3/\text{с}$,
- масса модели $m = 15,0; 20,0; 25,0$ кг.

Среднее значение коэффициента установки $\kappa = 0,70$.

На рис. 3 и 4 приведены результаты испытаний модели ПВП.

Сплошными линиями показаны результаты расчетов по проведенным ранее зависимостям (10) и (16). Коэффициент трения принимался $f = 920 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Сравнение показывает удовлетворительную сходимость результатов и возможность использования математических моделей сопротивления при относительных скоростях $Fr < 0,20$.

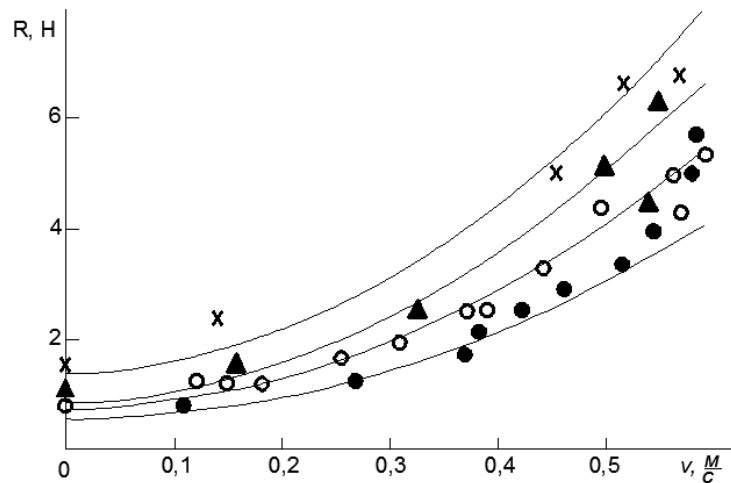


Рис. 3. Кривые сопротивления модели в гранулированном льду (шуге), масса модели 20 кг, толщина льда (• - $h = 1,2$ см, ○ - $h = 1,6$ см, ▲ - $h = 2,0$ см, × - $h = 3,2$ см)

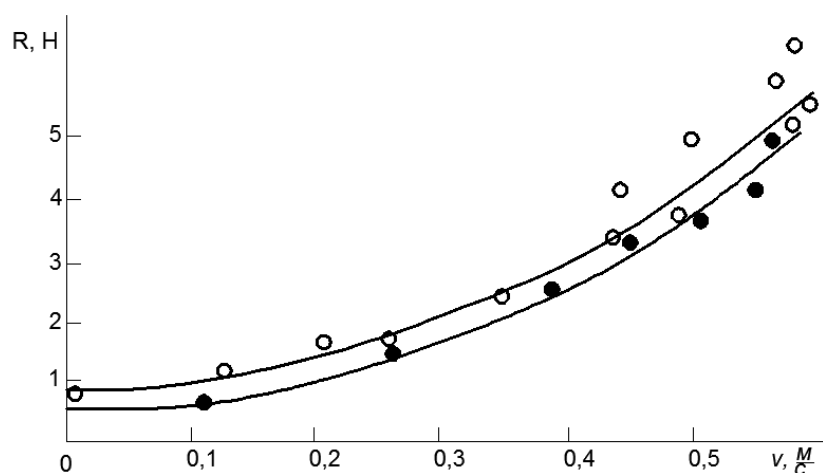


Рис. 4. Кривые сопротивления моделей ПВП массой 25 кг (○), 15 кг (•) в гранулированном льду толщиной $h = 1,6$ см

Сопротивление, физическая модель которого представлена на рис. 1, б оценивается следующим образом (плоская задача).

Рассмотрим движение над поверхностью льда плоского контура. Выделим на контуре элементарную площадку (рис. 5) dS , избыточное давление на которой P_{BII} , внешняя нормаль \vec{n} и радиус вектор \vec{r} . Элементарная сила и момент, действующие на площадку, запишутся так:

$$\begin{aligned} d\vec{R} &= \vec{P}_n \times dS = -P_{BII} \vec{n} dS, \\ d\vec{M} &= \vec{r} \times d\vec{R} = -\vec{r} \times \vec{n} P_{BII} dS. \end{aligned} \quad (17)$$

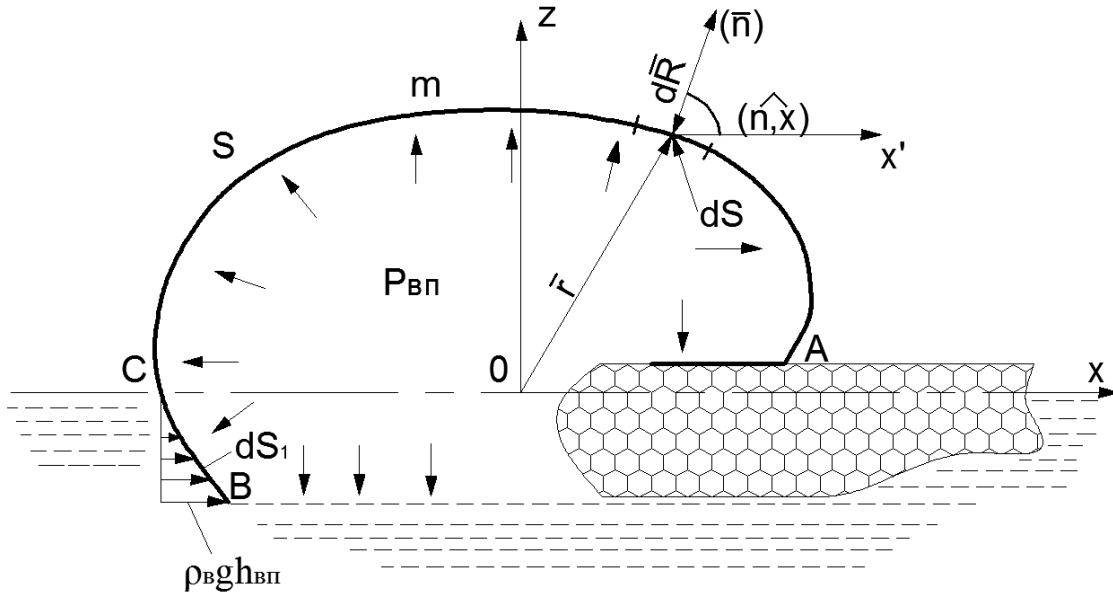


Рис. 5. Схема определения сопротивления

Учитывая результирующую от избыточных давлений, получим

$$\begin{aligned} \vec{R} &= \vec{i} \cdot R_x + \vec{K} R_z = i \int_S P_{BII} \cos(n \wedge x) dS + i \int_{S_1} \rho_v g z \cos(n \wedge x) dS_1 + \\ &+ \vec{K} \int_S P_{BII} \cos(n \wedge x) dS + \vec{K} \int_{S_1} P_{BII} \cos(n \wedge x) dS_1, \end{aligned}$$

где S – поверхность контура вдоль образующей AmB ; S_1 – поверхность контура вдоль образующей CB .

Окончательно

$$R_1 = P_{BII} \int_S \cos(n \wedge x) dS + \rho_v g \int_{S_1} z \cos(n \wedge x) dS_1 \quad (18)$$

или, учитывая, что $dS \cos(n \wedge x) = dS_x$ получим

$$R_1 = P_{BII} \int_{S_x} dS_x - \rho_v g \int_{S_{x_1}} z dS_{x_1}, \quad (19)$$

где $\int_{S_{x_1}} z dS_{x_1}$ – статический момент поверхности S_{x_1} , равный $S_1 z_{cx}$.

Поскольку $h_{ВП} = \frac{P_{ВП}}{\rho_e g}$, то

$$z_{cx} = \frac{P_{ВП}}{2\rho_e g};$$

$$R_1 = P_{ВП} B_{ВП} (z_B - z_A) - B_{ВП} \frac{P_{ВП}^2}{2\rho_e g}. \quad (20)$$

Таким образом, сопротивление, связанное с взаимодействием носовой поверхности ГО с битым льдом при наплывании на него, зависит только от давления в ВП, толщины льда и разности аппликат точек A и B .

Кроме этого, возникает сопротивление трения ГО и поверхность льда, которое приближенно можно определить так:

$$R_2 = f \frac{P_{ВП} B_{ВП} h}{\sin \gamma}. \quad (21)$$

Библиографический список

1. Зуев, В.А. Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – СПб.: Судостроение, 1986. – 208 с.
2. Зуев, В.А. Новые технологии разрушения ледяного покрова и продления навигации судами на воздушной подушке // Вопросы морской ледотехники: тр. ЦНИИ им. Акад. А.М. Крылова. 2007. Вып. 34 (318) С. 778–96.
3. Кличко, В.В. Гидродинамика амфибийных судов на воздушной подушке / В.В. Кличко. – СПб., 2012.

Дата поступления
в редакцию 18.06.2013

V.A. Zuev, N.M. Semenova

RESISTANCE FORECASTING OF ICE-BREAKING AIR CUSHION PLATFORM IN SLUDGE ICE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The interaction problem of icebreaking air cushion platform in sludge ice is considered.

Design/methodology/approach: A theoretical framework is proposed based on mathematic simulation with an analysis of the physical processes that influence on the platform overall resistance. The model data presented in this research paper show the adequacy of the chosen model.

Findings: This available data can be applied in resistance forecasting of the ice-breaking air cushion platform to movement in broken ice in a first approximation.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further research to know how such characteristics influence the resistance when icebreaking platform to movement in sludge ice.

Originality/value: For solving the optimal design problem of the air cushion platform is essential to know the resistance of the ship to movement both in clear water and ice. For the ice-breaking hovercrafts this problem consists of three tasks: defining ice-breaking resistance, defining resistance the air cushion platform which operates in the broken ice and defining water resistance. And this method presented could be useful for calculating resistance of icebreaking platform to movement at earlier stages of icebreaking air cushion platform design.

Key words: ice conditions, resistance, broken ice, icebreaking air cushion vehicles, physical and mechanical characteristics.

УДК 629.124

Е.М. Грамузов, Н.Е. Тихонова

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В работе рассмотрен подход к проектированию речного ледокола путём оптимизации его проектных характеристик. Предложены обобщённые критерии оптимизации. Рассмотрены составляющие математической модели судна и расчётные блоки, включённые в программный комплекс, позволяющий автоматизировать процесс выбора проектных характеристик ледокола.

Ключевые слова: речной ледокол, проектные характеристики, проектирование, математическая модель, оптимизация

Определение основных элементов и особенно формы корпуса при проектировании ледокола всегда тесно связывалось с обеспечением ледовой ходкости. В последние годы теория и методы расчёта ледового сопротивления движению ледокола получили существенное развитие. В частности, для речных ледоколов разработаны расчётные методы [1, 2, 3], позволяющие детально учитывать пространственное взаимодействие корпуса ледокола со льдом при определении ледового сопротивления. Указанные расчётные методы в явном виде включают главные размерения и характеристики формы носовой оконечности ледокола, толщину и физико-механические характеристики льда, скорость движения ледокола. Это послужило стимулом к разработке методов оптимизации основных проектных характеристик ледокола с учётом формы носовой оконечности на ранних стадиях проектирования.

Мощность главной энергетической установки, если она напрямую не определена техническим заданием на проектирование, определяется, как известно, обеспечением заданной ледопроеходимости судна, а именно, скоростью хода в заданных ледовых условиях. В качестве ледовых условий чаще всего задаётся толщина преодолеваемого сплошного ледяного покрова. Если в техническом задании определена мощность главной энергетической установки, то при проектировании стремятся получить максимальную достижимую скорость в конкретных ледовых условиях или максимальную предельную толщину сплошного ледяного покрова, преодолеваемого непрерывным ходом. И в том, и в другом случае актуальной задачей является определение оптимальных главных размерений и формы корпуса ледокола.

Особо следует остановиться на определении целевой функции или выборе критерия оптимизации, учитывая, что ледокол проектируется в основном для выполнения ледокольной работы, которая измеряется длиной ледового канала или пройденного пути в конкретных ледовых условиях. Минимизации подлежат затраты на выполнение ледокольной работы. В [4] в качестве критериев оптимизации различных ледокольных средств предложены удельные приведённые затраты и удельный расход топлива на разрушение единицы объёма льда. Мы рассматриваем линейный ледокол, ширина корпуса которого определяется требуемой шириной прокладываемого канала. При оптимизации линейных ледоколов в рамках одного технического задания в качестве критериев оптимизации можно использовать удельные приведённые затраты K_1 , измеряемые в денежных единицах на единицу длины и удельный расход топлива на ледокольную работу, измеряемый в единицах массы на единицу длины:

$$K_1 = \Pi/V; \quad K_2 = (Nq_T)/V,$$

где Π , V , N , q_T – приведённые затраты, скорость хода, суммарная мощность главных двигателей, удельный расход топлива главными двигателями соответственно.

По этим критериям можно сравнивать проекты ледоколов, предназначенных для

работы в некоторых конкретных ледовых условиях. Однако на практике ледоколы эксплуатируются в ледовых условиях, имеющих значительную изменчивость и разнообразие форм. Даже в ледовых условиях одного вида, например, ровный сплошной ледяной покров, баланс составляющих ледового сопротивления существенно зависит от толщины ледяного покрова [5]. В свою очередь разные составляющие ледового сопротивления по-разному реагируют на изменение формы носовой оконечности ледокола. Из этого следует, что ледоколы, спроектированные для движения в более или менее толстом ледяном поле, должны иметь различную форму носовой оконечности. Тем более изложенное справедливо для различных по форме ледообразований, таких как битые льды различных видов, толщины и сплочённости, сплошные льды различной толщины, включая лёд с толщиной выше предельной и т.д.

При проектировании ледокола как универсального средства борьбы с ледовыми затруднениями и выполнения ледокольных работ, на наш взгляд, необходимо учитывать разнообразие ледовых условий эксплуатации. Аналогичный подход представлен и в работе [6]. Очевидно, что эффективность проектных решений зависит от продолжительности работы ледокола в различных ледовых условиях. Структура ледовых условий зависит от района плавания ледокола и может быть задана двумя способами.

В первом случае может быть задано распределение ледовых условий по длине ледовых трасс. В результате обобщения и систематизации материалов многолетних наблюдений за гидрологическим режимом рек и водохранилищ определяются относительные протяжённости участков трасс \bar{l}_i ($\sum \bar{l}_i = 1$) с различными ледовыми условиями L_i . Тогда обобщённые критерии оптимизации можно представить в виде:

$$K_1 = \sum (\Pi_i / V_i) \bar{l}_i = \sum K_{1i} \bar{l}_i; \quad K_2 = q_T \sum (N_i / V_i) \bar{l}_i = \sum K_{2i} \bar{l}_i.$$

Во втором случае может быть задано распределение относительного времени плавания \bar{t}_i ($\sum \bar{t}_i = 1$) в различных конкретных ледовых условиях. Такой способ описания ледовых условий целесообразен для универсальных ледоколов, не имеющих постоянных маршрутов движения. Получить такую количественную информацию путём обработки материалов научных экспедиций и судовых наблюдений технически сложно. Однако её приближённо может заменить соответствующая обработка экспертных оценок судоводителей. В этом случае обобщённые критерии оптимизации можно рассчитать по формулам:

$$K_1 = \sum \Pi_i \bar{t}_i / \sum V_i \bar{t}_i; \quad K_2 = q_T \sum N_i \bar{t}_i / \sum V_i \bar{t}_i.$$

Значения скоростей V_i , фигурирующие в формулах, рассчитываются для конкретных условий L_i . В большинстве случаев ледокол работает с использованием полной мощности главных двигателей $N_i = N$. Однако для лёгких ледовых условий и в некоторых других случаях возможно частичное использование мощности.

Следует отметить, что недостаточно точное задание распределения ледовых условий должно оказывать влияние на значения оптимизируемых параметров и целевой функции. Однако это не может быть основанием для отказа от учёта разнообразия ледовых условий, поскольку при проектировании формы корпуса на единственные ледовые условия получаемый результат будет ещё дальше от цели, чем при неточностях в распределении. Иллюстрацию этого факта можно найти в работе [6], а также в приведённых далее данных.

Математическая модель ледокола, позволяющая оптимизировать основные проектные характеристики на ранних стадиях проектирования, включает аналитические уравнения проектирования, ограничения, генерирование теоретического чертежа, алгоритмы расчёта ледовой ходкости, алгоритмы проверочных общесудовых расчётов.

Проектирование ледокола имеет ряд характерных особенностей, отличающих его от проектирования других водоизмещающих судов гражданского назначения. В основном эти отличия связаны со спецификой ледовой ходкости и проектированием теоретического чертежа. Отработка обводов ледокола до настоящего времени в основном велась с помощью

дорогостоящих модельных исследований в ледовых опытовых бассейнах. Описанные ранее исследования в области ходкости позволили обратиться к оптимизационному проектированию обводов ледокола. Учитывая взаимосвязь формы корпуса и основных проектных характеристик, разработана математическая модель проектирования ледокола.

Математическая модель включает:

$\bar{C}(c_1, c_2, \dots, c_n)$ – вектор параметров технического задания на проектирование ледокола (класс судна, район плавания, автономность, число членов экипажа, требования к ледовой ходкости и т.д.);

$\bar{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор искомых характеристик (главные размерения, водоизмещение, мощность энергетической установки, форма корпуса ледокола, характеризуемая коэффициентами формы);

генерирование теоретического чертежа;

систему ограничений, включающую аналитические уравнения проектирования ледокола $G_j(\bar{X}, \bar{C}) \geq A_j, j=1, \dots, m$, (уравнение масс, уравнение плавучести, уравнение остойчивости, уравнение вместимости, уравнение ходкости);

ограничения на компоненты вектора искомых характеристик $x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}$ (осадка, ширина корпуса, и т.д.);

целевую функцию $Z(\bar{X}, \bar{C})$.

В качестве управляемых оптимизируемых переменных используются основные проектные характеристики ледокола: водоизмещение, главные размерения, мощность главных двигателей, число и геометрические характеристики гребных винтов, параметры, характеризующие ледокольную форму носовой оконечности.

В состав системы аналитических уравнений проектирования включены уравнения масс, плавучести, ходкости, остойчивости традиционного для буксиров и ледоколов вида.

Включённая в математическую модель процедура автоматизированного создания теоретического чертежа основана на следующих положениях. По длине судно подразделяется на носовое заострение, цилиндрическую вставку и кормовое заострение. Цилиндрическая вставка может отсутствовать.

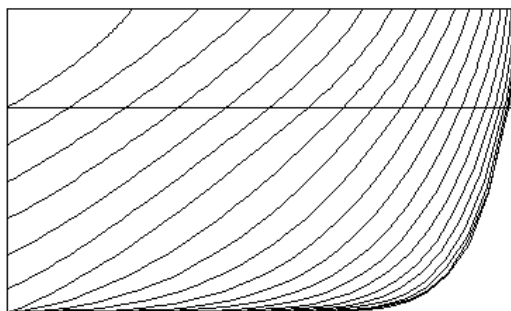


Рис. 1. Теоретический чертёж носовой оконечности проекта 1105(Капитан Чечкин), полученный с помощью программы генерирования теоретического чертежа

Обводы носового заострения, главным образом влияющие на ледовое сопротивление на переднем ходу, а, следовательно, и определяющие мощность главной энергетической установки, создаются с помощью параметрических функций [7]. Параметрами, влияющими на форму носового заострения, являются: длина носового заострения, осадка и ширина по КВЛ, коэффициенты полноты полноты носового заострения, угол наклона диаметрального батокса к горизонту в районе КВЛ, угол притыкания КВЛ к ДП, параметры, характеризующие форму носовой ветви КВЛ. В качестве примера на рис. 1 приведён теоретический чертёж носовой оконечности ледокола проекта 1105, сгенерированный описываемой системой.

Для получения формы кормовой оконечности использован упрощённый подход. Известные, в том числе и используемые, методы расчёта ледового сопротивления не учитывают форму кормового заострения при движении ледокола передним ходом, т.е. математическая модель и критерии оптимизации оказываются малочувствительными по отношению к форме кормовой оконечности. Поэтому для получения замкнутой системы обводы кормы афинно перестраиваются с теоретических чертежей существующих речных ледоколов. Тип кормовых обводов определяется числом гребных винтов. Для двухвальной пропульсивной установки используются обводы ледокола проекта Р47, для трёхвальной – проекта 1105, четырёхвальной – проекта 1191.

В отдельный блок выделены трудоёмкие расчёты ледокольных геометрических характеристик теоретического чертежа, используемых при определении ледового сопротивления.

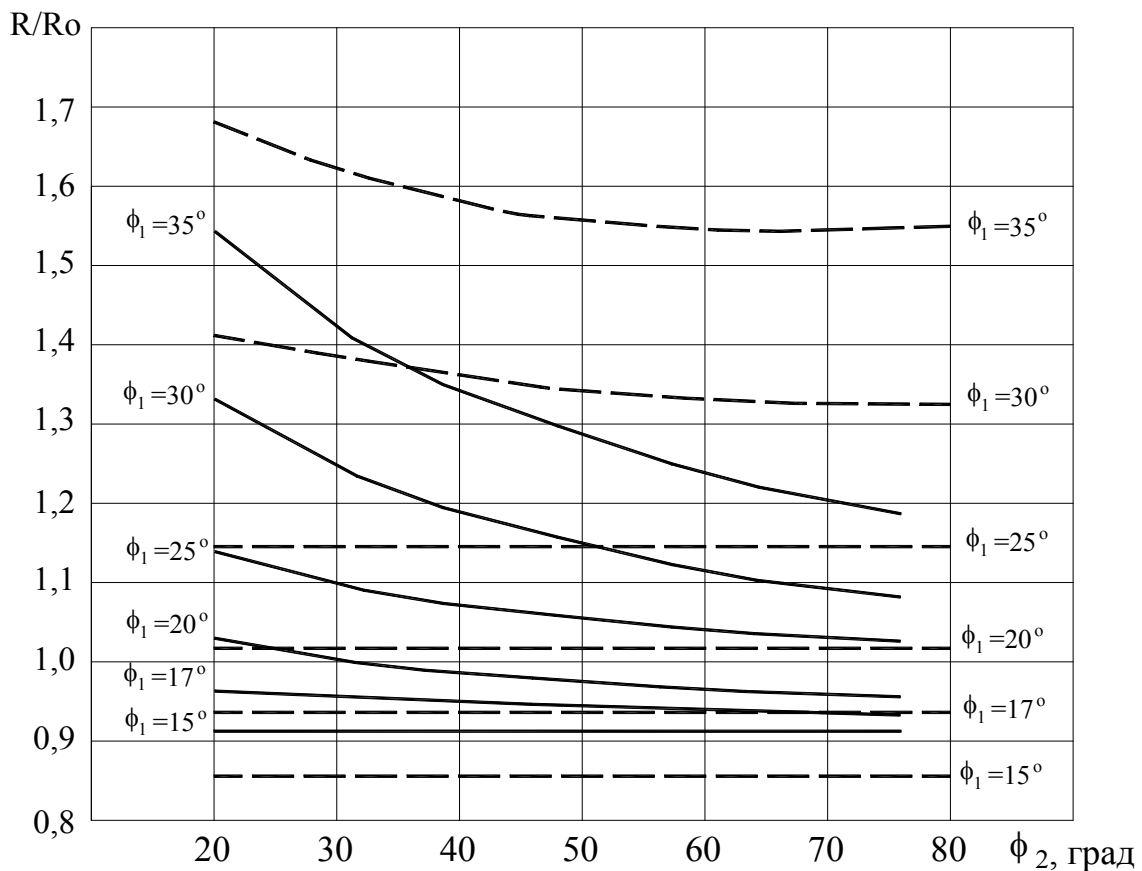


Рис. 2. Зависимости R/R_o от угла притыкания КВЛ к ДП ϕ_2 для разных значений угла наклона форштевня ϕ_1 при $h = 0,3$ м; $v = 3,2$ м/с (—) и при $h = 0,7$ м; $v = 1,0$ м/с (—)

Блок расчётов ледовой ходкости включает методы расчёта ледового сопротивления в сплошном [2] и битых льдах [1], а также в сплошном льду, толщина которого превышает предельную [3], где ледокол движется набегам. Для расчёта винтов используются аппроксимированные диаграммы для расчёта гребных винтов ледоколов [8]. Этот блок имеет важное самостоятельное проектно-исследовательское значение. Он позволяет анализировать влияние параметров формы носовой оконечности и соотношений главных размерений на ледовое сопротивление. В качестве примера на рис. 2 показано влияние углов наклона форштевня к горизонту ϕ_1 и углов притыкания КВЛ к ДП ϕ_2 на ледовое сопротивление, отнесённое к сопротивлению базового проекта 1105 в различных ледовых условиях при работе ледокола на полную мощность.

На основе описанной математической модели разработан программный комплекс.

Оптимизация осуществляется методом автоматизированного перебора возможных вариантов оптимизируемых параметров из области допустимых значений. Процесс поиска оптимального решения при обосновании выбора основных проектных характеристик речного ледокола полностью автоматизирован на ПЭВМ и управляем в диалоговом режиме конструктором.

Конструктор имеет возможность задавать различные варианты технического задания, вводить или корректировать измерители масс и другие дополнительные параметры, контролировать поиск оптимального решения, в том числе просматривать создаваемые в процессе оптимизации теоретические чертежи. Конструктор имеет возможность анализировать корректность технического задания и вырабатывать, в случае необходимости, предложения по его изменению.

Система позволяет выполнять широкий круг математических экспериментов, направленных на получение данных, необходимых для выработки ледокольной концепции судна.

Библиографический список

1. **Ионов, Б.П.** Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
2. **Грамузов, Е.М.** Полуэмпирическая модель ледового сопротивления речного ледокола / Е.М. Грамузов, П.А. Курнев // Вопросы проектирования судов, плавающих во льдах: межвуз. сб. / Горьков. политехн. ин-т. – Горький, 1988. С. 36–42.
3. **Грамузов, Е.М.** Исследование параметров движения ледоколов набегами / Е.М. Грамузов, Н.В. Калинина // Теория, прочность и проектирование судов, плавающих во льдах: межвуз. сб. / НГТУ. – Н.Новгород, 1995. С. 43–51.
4. **Зуев, В.А.** Оценка эффективности ледокольных средств / В.А. Зуев, В.В. Князьков // Речной транспорт. 1997. № 4. С. 32–33.
5. **Зуев, В.А.** Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.
6. **Каштелян, В.И.** Оценка ледовых качеств ледоколов, отличающихся формой обводов корпуса, с учётом плавания в различных ледовых условиях // Теория, прочность и проектирование судов, плавающих во льдах: межвуз. сб. / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 6–8.
7. **Грамузов, Е.М.** Генерирование теоретического чертежа при оптимизации основных проектных характеристик ледокола / Е.М. Грамузов, Н.Е. Тихонова // Современные технологии в кораблестроительном и энергетическом образовании, науке и производстве: сб. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. / НГТУ. – Н. Новгород, 2006. С. 107–114.
8. **Игнатъев, М.А.** Гребные винты судов ледового плавания / М.А. Игнатъев. – Л.: Судостроение, 1966. – 114 с.

*Дата поступления
в редакцию 18.06.2013*

E.M. Gramuzov, N.E. Tikhonova

JUSTIFICATION OF DESIGN CHARACTERISTICS OF RIVER ICEBREAKERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Identification of the main elements of the shape of the body and especially in the design of the icebreaker is always closely linked to the provision of cross-ice.

In this article the approach to the design of river icebreaker through the optimization of its design characteristics is considered. Generalized optimization criteria are proposed. The components of the mathematical model of the vessel are considered. The mathematical model allowed us to develop a software system that automates the process of selecting the engineering characteristics of icebreakers. Optimization is carried out by the automated sorting options optimized parameters. The process of finding optimal solutions to justify the choice of the basic design characteristics of the river icebreaker is fully automated on the PC. Its management is a designer interactively. The system allows for a wide range of mathematical experiments to obtain the data needed to develop the concept of ice breaking ship.

Key words: river icebreaker design specifications, design, mathematical model, optimization.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.3

Д.А. Бандорин, Д.А. Бадугин, Е.В. Бычков, В.Л. Мельников,
В.В. Соколов, В.Г. Титов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОЦИЛИНДРОВ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье приведен вариант построения автоматизированной системы управления статическими и ресурсными испытаниями гидроцилиндров и гидроагрегатов промышленных механизмов. Представлена структурная схема стенда испытаний с описанием его составных частей. Разработан графический интерфейс управлением испытаниями. Предложен алгоритм адаптивной настройки ПИД-регулятора. Рассмотрены основные этапы проведения цикла испытаний.

Ключевые слова: автоматизация, ресурсные испытания, технологический процесс, гидроцилиндр, автоматическое регулирование, программируемый логический контроллер, человеко-машинный интерфейс.

Одним из направлений повышения энергоэффективности производства является глубокая автоматизация его технологических процессов, позволяющая существенно снизить энергетические и трудовые затраты. Предприятие ОАО «Гидромаш» – ведущее в России по разработке, производству и испытаниям гидроцилиндров и гидроагрегатов для различных механизмов и аппаратов. Для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции на завершающей стадии производства предусмотрены статические и ресурсные испытания. Статические испытания проводятся для оценки фактической прочности путём нагрузки конструкции до разрушения. При ресурсных испытаниях гидроцилиндры нагружаются в нескольких точках силами, изменяющимися по определенной программе. Результатами испытаний являются графики нагрузки с датчиков обратной связи (силы), линейных тензодатчиков, расположенных в контрольных местах конструкции, а также датчиков перемещения. В настоящее время для проведения указанных видов испытаний используются стенды, не отвечающие современным требованиям к надежности, точности и энергоэкономичности. С учётом изложенного разработан стенд, структурная схема которого представлена на рис. 1.

Предлагаемый стенд для испытаний состоит из четырех частей:

- механической – непосредственно испытываемый образец с размещенными на нем датчиками и подсоединенными к месту крепления колеса штоками с гидроцилиндрами;
- гидравлической – усилитель электрогидравлический (УЭГ), преобразующий электрический сигнал управления в механическое воздействие;
- электрической – программируемое устройство, формирующее электрический сигнал управления определенной формы и осуществляющее контроль за аварийными ситуациями;
- информационной – человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) для ввода программы испытаний и формирования отчетов.

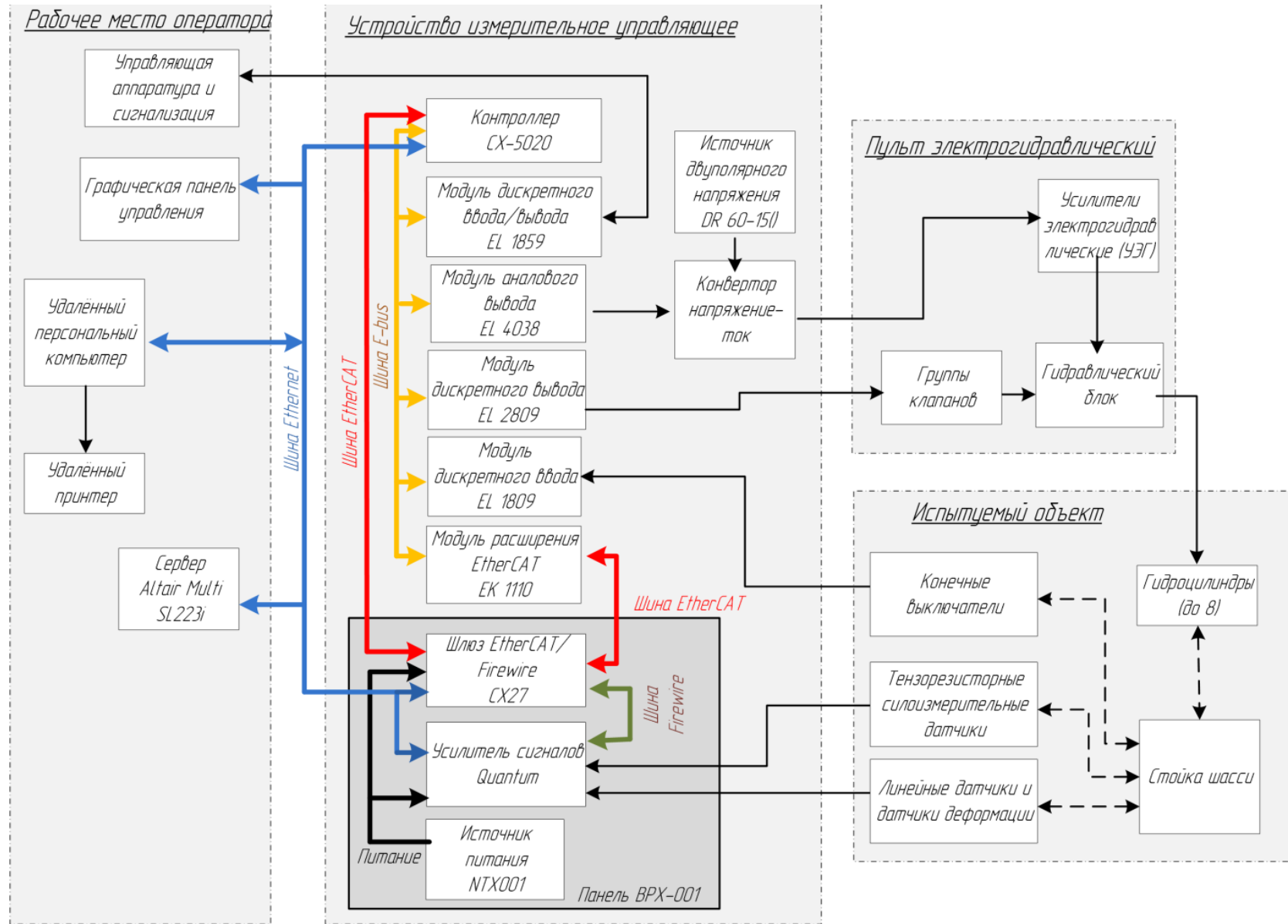


Рис. 1. Структурная схема стенда управления испытаниями гидроагрегатов для одного канала управления

В качестве полевого устройства измерения и управления использован программируемый логический контроллер (ПЛК) фирмы Beckhoff CX5020 с подключенными к нему аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода. С учётом того, что применяемые датчики силы выполнены по принципу тензорезистивного моста, сигнал с которого составляет милливольты, в систему включен усилитель НВМ QuantumCX27 с модулями аналогового ввода MX840 и MX1615.

Используемый ПЛК оснащен модифицированной на уровне ядра операционной системой WindowsCE, способной запускать управляющую программу в режиме реального времени. Этот режим гарантирует отсутствие прерываний во время выполнения программы, а также ее циклическое исполнение через равные промежутки времени. Такой режим необходим для обеспечения постоянства периода квантования при построении цифровой системы автоматического управления (САУ). Кроме того, все модули ввода/вывода, а также усилитель Quantum CX27 подключены к промышленной шине EtherCAT, синхронизированной по времени с рабочим циклом управляющей программы.

Управляющая программа написана в среде разработки TwinCAT, поставляемой вместе с контроллером. Алгоритм составлен с использованием метода конечных автоматов на языке Sequential Function Chart (SFC). При этом переход из одного состояния в другое осуществляется либо по команде пользователя, либо автоматически при возникновении аварийных ситуаций. В качестве параметра управления принимается величина силонагружения в одной из точек приложения силы. Каждой точке (оси) соответствует канал управления. При этом в канал управления входит токовый сигнал управления, подаваемый на УЭГ, а также сигнал обратной связи с датчика силы. Для обеспечения требуемого качества следящей САУ (ошибка регулирования не должна превышать 2% от верхнего предела измерений) выбран ПИД-регулятор, реализованный с использованием функциональных блоков динамических звеньев из библиотеки расширений.

В состав информационной системы входят:

- сервер под управлением ОС Windows XP, на котором загружены ЧМИ и база данных с учетными записями выполненных испытаний;
- графическая сенсорная панель под управлением ОС Windows CE, вмонтированная в шкаф управления, посредством которой с помощью службы удаленного рабочего стола осуществляется управление сервером;
- персональный компьютер с ОС Windows XP для удаленного подключения к серверу.

Человеко-машинный интерфейс написан на языке C# с использованием фреймворка WPF. Обмен информацией между ЧМИ и ПЛК осуществляется на основе протокола TwinCAT ADS.

Логической единицей информационной системы является учетная запись испытания. Каждая запись хранит название испытания, его тип (статические, усталостные, ручное управление), результаты испытания и структуры данных - группы параметров. В системе используются следующие группы параметров:

- типы каналов и контроля;
- программа испытаний (статических или усталостных);
- параметры ПИД-регулятора;
- конфигурация портов ввода/вывода.

Различные группы параметров можно переносить из одной учетной записи в другую. Группа «программа испытаний» переносится только между учетными записями одного типа. В группе «типы каналов и контроля» определяется количество используемых каналов, их названия, тип и виды защит. В остальных группах задаются индивидуальные настройки (рис. 2) для каждого из каналов.

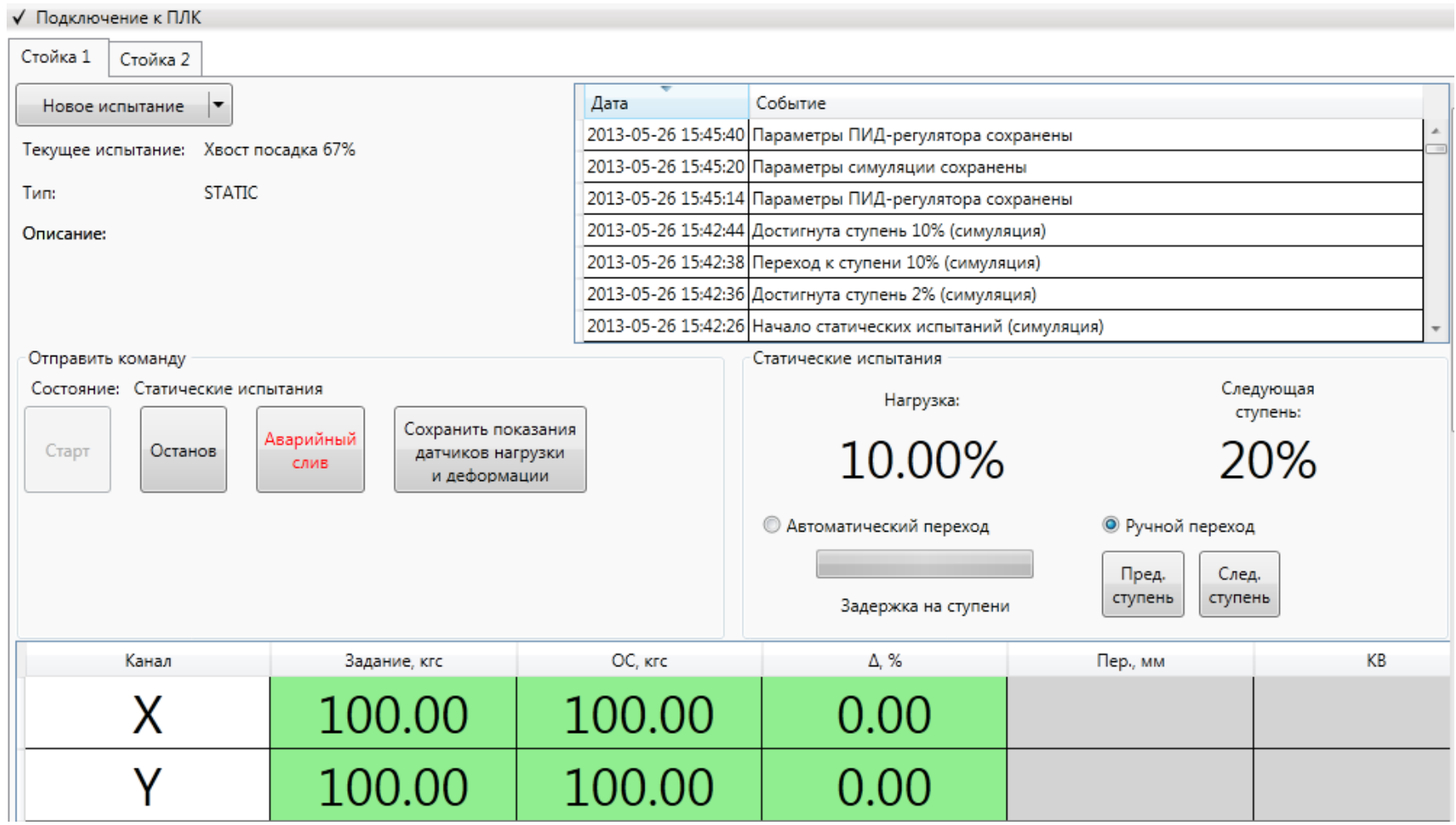


Рис. 2. Экран управления испытаниями в статическом режиме

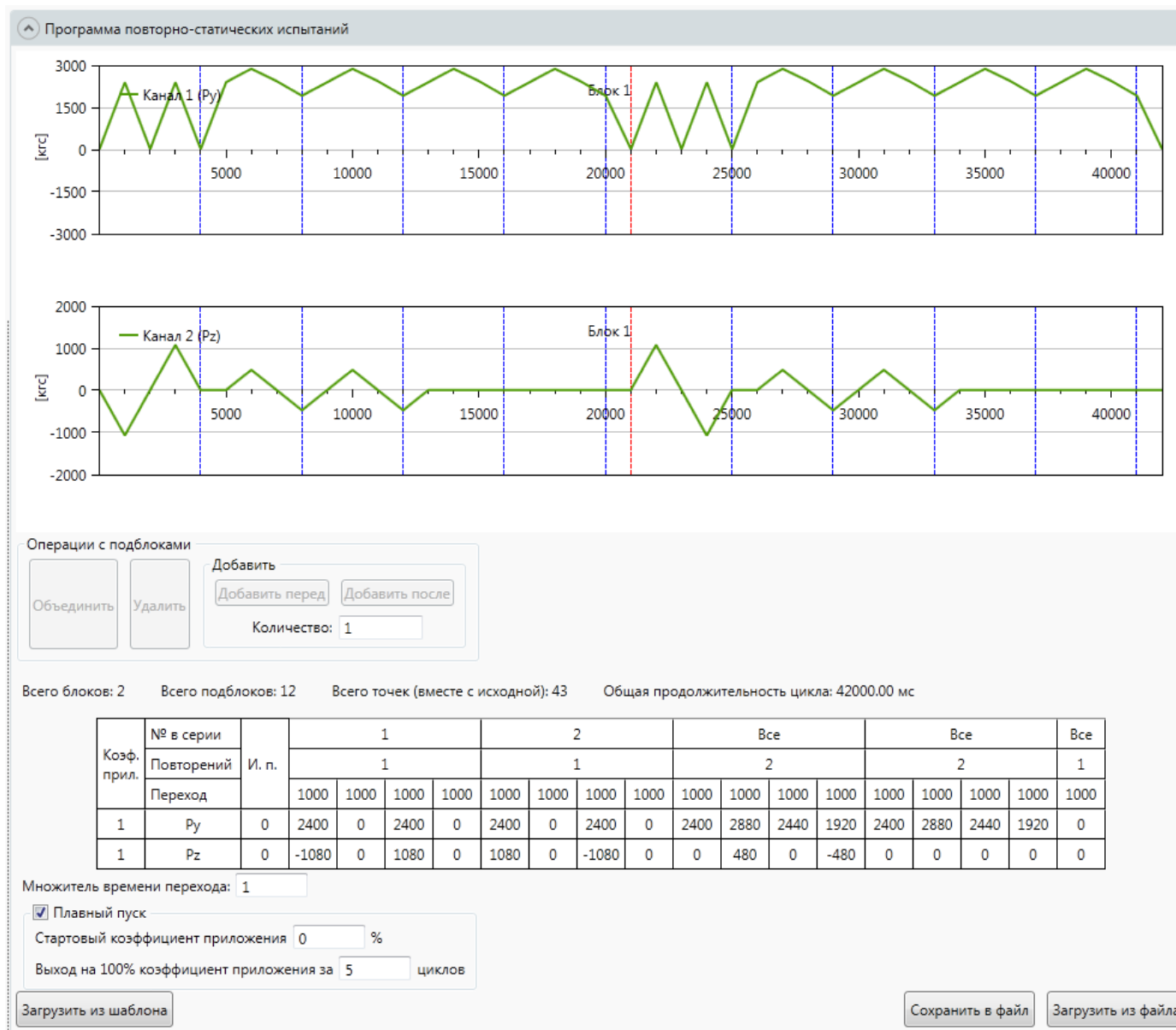


Рис. 3. Ввод программы ресурсных испытаний с помощью ЧМИ

Логической единицей человеко-машинного интерфейса является стойка. Стойка – набор предварительно заданных физических портов ввода/вывода для сигналов УЭГ, лампочек индикации режима работы и кнопки «Авария» на передней панели шкафа управления. С помощью ЧМИ определенной стойке назначается учетная запись испытания.

На основе анализа существующего порядка проведения испытаний, а также выделением различных этапов и определением роли оператора на каждом этапе выполнена оптимизация информационных процессов. С учетом полученных данных разработан человеко-машинный интерфейс и сценарий его использования, включающий следующие стадии:

- составление программы испытаний;
- подготовка стенда к работе;
- настройка ПИД-регулятора;
- проведение испытания;
- обработка результатов испытания.

Составление программы испытаний производится оператором удаленно, без непосредственного подключения к полевому контроллеру. Для удобства ввода задания на повторно-статические (усталостные) испытания предусмотрена функция группировки точек силонагружения в подблоки и их автоматического повторения в различных блоках задания. Для исключения ошибок при вводе на экран выводится график результирующего сигнала (рис. 3).

Подготовка стенда к работе включает присвоение логическим каналам, состоящим из сигналов управления, обратной связи и информационных сигналов, физических портов ввода/вывода. Для исключения ошибок при назначении порта ввода, используется интеграция человеко-машинного интерфейса с программным обеспечением измерительного усилителя Quantum SX27, из которого извлекаются данные о назначенных измерительным каналам датчиках. Кроме того, предусмотрена возможность подачи сигнала управления в «ручном» режиме для проверки правильности назначения портов вывода.

На этапе подготовки также определяются значение электрического сигнала управления, при котором гидроцилиндры находятся в нейтральном положении.

Настройка ПИД-регулятора заключается в предварительном нагружении в статическом режиме. В ходе этого силонагружения составляется таблица интерполяции для коэффициентов ПИД-регулятора. Для этого задаются некоторые начальные коэффициенты и осуществляется нагрузка по ступеням с небольшим шагом. При появлении колебаний в системе в таблицу линейной интерполяции добавляется точка с уменьшенным коэффициентом усиления для той величины силонагружения, при которой возникли колебания. Процесс подбора коэффициентов прекращается, когда настраиваемая величина силонагружения достигает заданного значения без возникновения колебаний.

Перед проведением испытания предусмотрена возможность запуска управляющей программы в режиме «симуляции» для проверки корректности составленной программы испытаний. В этом режиме сигнал управления подается не на физические порты вывода, а на виртуальную модель.

Разработанная цифровая автоматизированная система контроля, измерения и управления прошла апробацию на ОАО «Гидромаш». Ее внедрение в несколько раз ускоряет процесс подготовки и проведения как статических, так и ресурсных испытаний. Высокая точность САУ и непрерывное протоколирование результатов позволяет достоверно выявлять критические ситуации в процессе испытаний и способствует улучшению качества выпускаемой продукции и повышению энергоэффективности технологического процесса испытаний и производства в целом.

Библиографический список

1. **Изерман, Р.** Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 530 с.
2. Техническое задание. С и ПС-РГ-01. Разработка и поставка цифровой автоматической системы контроля, измерения и управления для статических и повторно-статических испытаний стоек шасси. – Н. Новгород: НОАО «Гидромаш», 2010. – 13 с.
3. Beckhoff Information System [Электронный ресурс]. Germany : GmbH Beckhoff Automation, cop. 2000–2011. – Режим доступа : <http://www.beckhoff.com>
4. QuantumX Assistant Help [Электронный ресурс]. – Germany: GmbH Hottinger Baldwin Messtechnik, cop. 2005–2011. – Режим доступа : <http://www.hbm.com>

*Дата поступления
в редакцию 05.06.2013*

**D.A. Bandorin, D.A. Badugin, E.V. Bychkov V.L Melnikov,
V.V. Sokolov, V.G. Titov**

AUTOMATING THE TESTING OF CYLINDERS AS A MEANS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

In the article there is an option for building automated control system of static and durability tests of hydraulic cylinders and hydraulic units of industrial machinery. Presents a structural scheme of the stand tests with a description of its component parts. Designed graphical interface running tests. The algorithm of adaptive setting pid-controller. Describes the main stages of a series of tests.

Key words: automation, endurance tests, process, hydraulic cylinder, automatic control, programmable logic controller, man-machine interface.

УДК 621.314

Р.В. Колосов, А.В. Пученкин, В.В. Титов, В.Г. Титов

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются особенности работы возобновляемых источников энергии. Выявлены основные факторы, усложняющие использование возобновляемых источников энергии для систем малой генерации. Проведен анализ существующих алгоритмов управления возобновляемыми источниками энергии и отражены их основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: солнечные батареи, ветрогенераторы, алгоритмы управления, энергоэффективность

В настоящее время одним из перспективных направлений развития малой электроэнергетики является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Перечень их достаточно велик. В настоящей работе, выполняемой по государственному заказу ГК № 16.1526.12.6016 от 11 декабря 2011 г., анализированы источники на базе ветроустановок и солнечных батарей, работающих параллельно с энергосистемой малой генерации. Очевидно, что в этом случае необходимо максимально использовать возобновляемые источники во всех режимах работы энергосистемы, обеспечивая снижение нагрузки питающей линии [1]. При этом даже при малой мощности потребителей в узле нагрузки возобновляемые источники будут работать на аккумулятор энергии, емкость которого существенно меньше, чем при их работе на автономную сеть.

Основной отличительной особенностью энергогенерирующих комплексов на базе ВИЭ является стохастический характер параметров первичного источника энергии. В большей мере это относится к гелио- и ветроэнергетике.

В ветроэнергетических установках изменение энергии ветрового потока вызывает колебание выходного напряжения машинно-вентильного генератора (рис. 1). По полученным частотным характеристикам видно, что чем больше частота порывов ветра, тем меньше амплитуда колебаний выходных параметров машинно-вентильной системы.

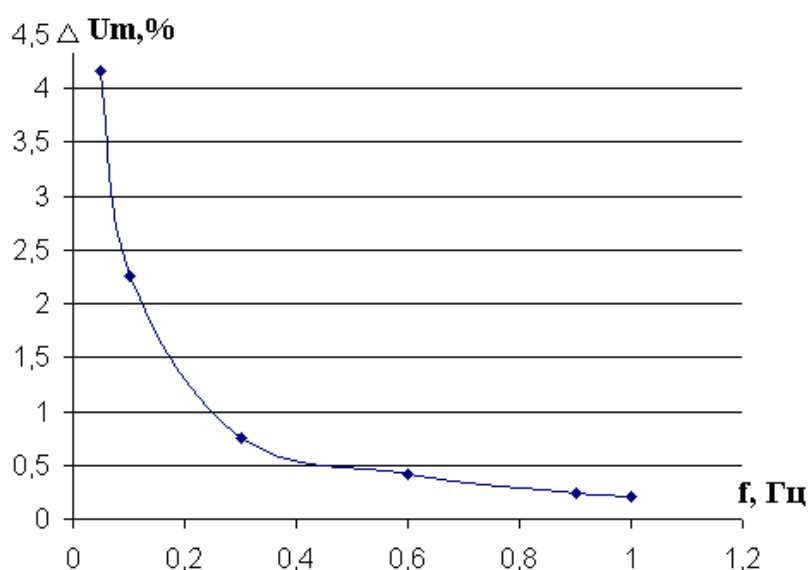


Рис. 1. Частотная характеристика напряжения с выхода выпрямителя

Второй особенностью рассматриваемых систем является наличие у характеристик первичных преобразователей энергии выраженного максимума коэффициента полезного действия, зависящего от комбинации параметров самого источника энергии, преобразователя и питаемых потребителей, что вызывает необходимость регулирования процессов преобразования для повышения их эффективности. Также следует отметить необходимость оценки состояния сети, то есть режима работы потребителей, состояния буферного накопителя, оценки запаса его мощности, необходимости зарядки.

Стабилизация выходного напряжения и частоты, обеспечение максимальной генерируемой мощности при изменяющемся потоке ветра может быть обеспечено в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 2.

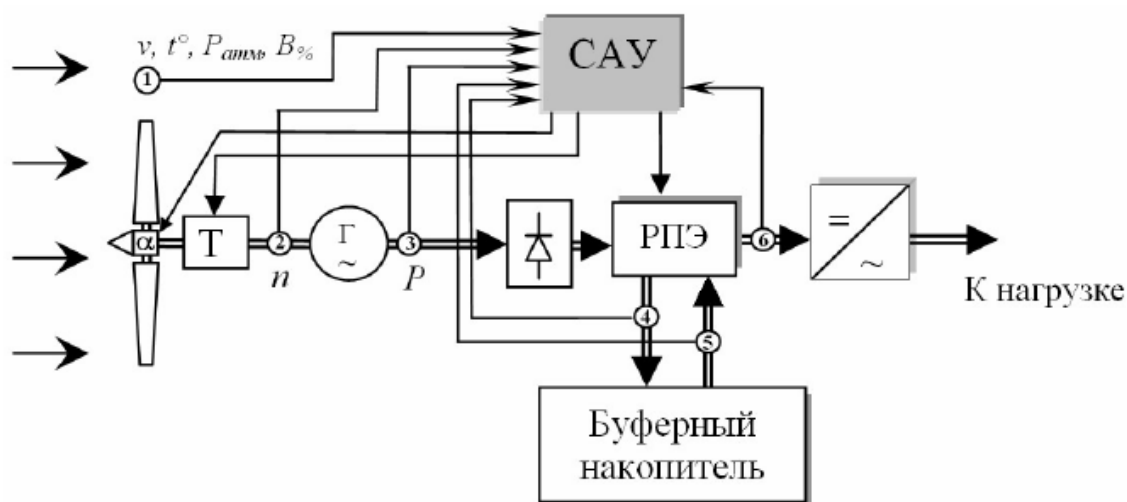


Рисунок 2 – Упрощённая блок-схема ВЭУ малой мощности крыльчатого типа, в которой реализуется оптимальное управление:

1 – контроль скорости ветра, температуры окружающей среды, атмосферного давления, относительной влажности; 2 – контроль частоты вращения ветроприёмника; 3 – контроль генерируемой электрической мощности; 4, 5 – контроль потоков мощности на буферном накопителе; 6 – контроль потребляемой электрической мощности; α – управление шагом лопастей; Т – трансмиссия (мультипликатор + тормоз); Г – генератор переменного тока; РПЭ – распределитель потоков энергии

В системах, использующих солнечную энергию для повышения эффективности работы солнечных батарей, вводят регулятор точки максимальной мощности (РТММ) [3]. РТММ постоянно определяет мгновенную мощность путём непрерывного измерения напряжения и тока, использует эту информацию для изменения параметров преобразователя. Таким образом, регулируется уровень зарядного тока демпфирующей системы и достигается максимальная выходная мощность, независимо от условий работы преобразователя (мощности нагрузки, уровня освещённости, температуры). Для управления РТММ существует ряд алгоритмов [4]:

- случайных возмущений;
- постоянного напряжения (тока);
- дополненной проводимости;
- нечеткая логика;
- искусственные нейронные сети.

Алгоритм случайных возмущений – наиболее общий и используемый в РТММ. Однако нельзя сказать, что он лучший. Для понимания поведения преобразователя под управлением различными алгоритмами необходим сравнительный анализ этих алгоритмов,

используемых оптимизированные параметры и управляющие стандартизированным преобразователем. Следует также отметить, что алгоритмы РТММ, основанные на цифровой обработке сигналов или нечеткой логике, получают большее внимание в последнее время. [5]

Однако реализация таких методов остается достаточно дорогой и на данный момент такие системы применяются мало, поэтому эти алгоритмы не были включены в данное исследование.

Алгоритм случайных возмущений наиболее часто встречается в практике, так как наиболее прост в реализации. Работает он следующим образом: предположим, что рабочая точка массива солнечных батарей находится в точке, не соответствующей точке максимальной мощности (ТММ). В алгоритме случайных возмущений рабочее напряжение массива солнечных батарей увеличивается или уменьшается на небольшое значение. Затем измеряется изменение в мощности, отбираемой преобразователем от солнечной батареи. Если изменение мощности положительное, тогда изменения напряжения в том же направлении будут сдвигать рабочую точку ближе к ТММ. Как только изменение напряжения приводит к снижению мощности, система начинает изменять его в противоположном направлении. Таким образом, при достижении точки максимальной мощности система приходит в состояние динамического равновесия.

Однако алгоритм случайных возмущений имеет ряд недостатков, которые приводят к снижению эффективности РТММ. Один из таких недостатков связан со снижением уровня освещенности. При малых значениях освещения вольт-амперная характеристика сглаживается, что приводит к сложностям при определении точки максимальной мощности, так как изменения в мощности становятся малы по сравнению с изменением напряжения. Другой недостаток алгоритма случайных возмущений – он не может точно определить момент достижения регулятором ТММ.

Основа метода стабилизации напряжения – принятие допущения, что отношение напряжения ТММ к напряжению холостого хода практически неизменно:

$$\frac{U_{tmm}}{U_{oc}} \cong K < 1, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности между U_{tmm} и U_{oc} .

Алгоритм работает следующим образом: массив фотоэлементов временно изолируется от РТММ и измеряется напряжение холостого хода, затем алгоритм вычисляет положение ТММ для текущего коэффициента $K(1)$. Напряжение в РТММ устанавливается до тех пор, пока вычисленное соотношение $\frac{U_{tmm}}{U_{oc}}$ не будет достигнуто. Эта процедура периодически повторяется.

Метод постоянного напряжения крайне прост, однако довольно трудно выбрать оптимальное значение коэффициента K . Значение этого коэффициента колеблется в пределах от 0,73–0,80. Метод постоянного напряжения может быть реализован на аналоговых компонентах, однако эффективность отслеживания ТММ при его использовании мала по сравнению с другими алгоритмами. Причины этого заложены в неточном определении коэффициента K , а также в необходимости временно прерывать работу солнечных батарей для измерения напряжения холостого хода. Значение K можно изменять динамически, но это потребует реализации поискового алгоритма, близкого к алгоритму случайных возмущений. Алгоритм дополненной проводимости (рис. 3) получается дифференцированием мощности массива солнечных батарей по напряжению и установлением результата, равного нулю.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{\partial(VI)}{\partial V} = I + V \frac{\partial(I)}{\partial V}; \quad (\text{в ТММ } \frac{\partial P}{\partial V} = 0), \quad (2)$$

следовательно:

$$-\frac{I}{V} = \frac{\partial(I)}{\partial V}. \quad (3)$$

Заметим, что левая часть уравнения (3) представляет собой величину обратную мгновенной проводимости солнечной батареи, в то время как правая часть – приращение про-

димости. В точке максимальной мощности эти две величины должны быть эквивалентны по величине, но противоположны по знаку. В случае, когда рабочая точка находится за пределами ТММ из уравнения (3), может быть получен набор неравенств, определяющий рабочее напряжение выше или ниже напряжения ТММ:

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} = -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} > -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) > 0; \quad (5)$$

$$\frac{\partial(I)}{\partial V} < -\frac{I}{V}, \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right) < 0. \quad (6)$$

Уравнения (5), (6) используются для определения направления, в котором должно совершаться изменение, и изменения повторяются до тех пор, пока условие (4) не будет достигнуто. Как только ТММ достигнута, РТММ продолжает оставаться в этой точке, пока не будет изменений тока. Изменение тока означает изменение уровня освещенности солнечной батареи. С увеличением освещенности ТММ движется вправо по отношению к напряжению солнечной батареи. Для компенсации этого движения РТММ должен увеличить рабочее напряжение и наоборот.

Текущее и предыдущее значение напряжения и тока используются для вычисления приращений: если приращение тока и напряжения равны нулю, следовательно, атмосферные параметры не изменились, а рабочая точка РТММ остается в точке максимальной мощности. Если изменение напряжения равно нулю, а изменение тока больше нуля, следовательно, уровень освещенности увеличился, увеличивая напряжение ТММ. Это требует увеличения рабочего напряжения от РТММ. Наоборот, отрицательное изменение тока означает снижение уровня освещенности, что снижает напряжение ТММ и соответственно РТММ должен снизить рабочее напряжение. В случае, когда изменение напряжения не равно нулю, отношения (4), (5), (6) могут быть использованы для определения направления для последующих изменений.

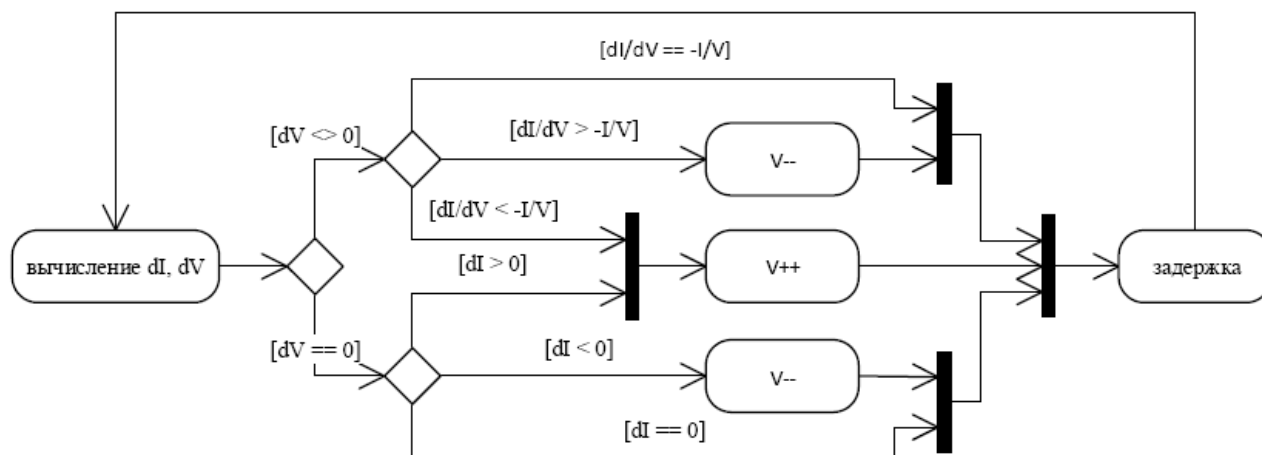


Рис. 3. Диаграмма работы алгоритма приращения проводимости

Основное преимущество метода дополненной проводимости над алгоритмом случайных возмущений в том, что он может вычислить направление, в котором будут совершаться изменения рабочей точки для достижения ТММ, и определить, в какой момент достигается ТММ. Поэтому при резком изменении освещенности работа такого алгоритма не приведет к ошибочному выбору направления изменений, а также будут отсутствовать колебания вокруг ТММ в момент, когда она достигается алгоритмом.

Библиографический список

1. **Соснина, Е.Н.** Вопросы эффективного использования возобновляемых источников энергии в локальной системе электроснабжения потребителей / Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо // Электрические станции. 2012. №9. С. 13–16.
2. **Колосов, Р.В.** Моделирование ветроэнергетических установок / Р.В. Колосов, В.Г. Титов, Г.М. Мирясов // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы науч. - технич. конф. – Н. Новгород, 2012. С. 103–111.
3. **Ropp, M.E.** Comparative study of maximum power point tracking algorithms / M.E. Ropp, D. P. Hohm // Progress in Photovoltaics: research and Applications. 2003.
4. **Пученкин, А.В.** Регулятор точки максимальной мощности для солнечных батарей // Состояние и перспективы развития электротехнологии: сб. науч. тр. – Иваново: ИГЭУ, 2011.

*Дата поступления
в редакцию 06.08.2013*

R.V. Kolosov, A.V. Puchenkin, V.V. Titov, V.G. Titov

RENEWABLE ENERGY IN THE SYSTEMS OF SMALL GENERATION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Assessment of features of work of renewable.

Design / methodology / approach: Studying of possibility of increase in efficiency at the expense of change of algorithms of management of renewable sources in systems of small generation.

Results: Major factors complicating use of renewables in systems of small generation are revealed.

Restrictions/values of research: The analysis of existing algorithms of management is made by renewables and their main merits and demerits are reflected.

Novelty/value: Only modern methods and prospects of their application are considered.

Key words: Solar batteries, wind generators, algorithms of management, energy efficiency.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.785.363 (088.8)

В.И. Астащенко, А.И. Швеёв, Т.В. Швеёва, И.Н. Халиков

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СТАЛИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

Набережночелнинский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны

Проведены комплексные исследования механических и технологических свойств сталей АЦ40Х2НМАФ и АЦ30Х3НМАФБ. Показаны преимущества новых сталей в части повышения статических и динамических характеристик. Рекомендовано использование таких сталей для изготовления тяжело нагруженных деталей – коленчатых валов и шатунов двигателя. Показана эффективность применения стали 18ХГР для зубчатых колес.

Ключевые слова: термообработка, сталь, деформация, структура, твердость.

В связи с ускоренным развитием техники крайне актуальными встают вопросы повышения надежности и долговечности деталей машин. Особенно возрастает роль такой задачи в настоящее время, так как развитие основных отраслей промышленности идет в направлении повышения нагрузок, температур и использования агрессивных сред, в которых работает деталь. Возможным решением поставленной задачи является разработка, исследование и внедрение новых высокопрочных сталей.

Методика работы

Металлографические исследования выполнены с использованием микроскопов «Эпитип-2» и «Неофот-2» при увеличениях $\times 100$ - $\times 1000^*$. Загрязненность стали неметаллическими включениями оценивали по ГОСТ 1778-70, размер зерна определяли методом окисления (стали АЦ40Х2НМАФ и АЦ30Х3НМАФБ) и методом цементации (сталь 18ХГР) по ГОСТ 5639-82.

Испытания на растяжения и ударную вязкость проводили на разрывной машине ZD-20 и маятниковом копре PSW-30 в соответствии с ГОСТ 1497-61 и ГОСТ 9454-60. Образцы изготавливали из заготовок, отобранных из проката по ГОСТ 7564-73 и прошедших термическую обработку: для сталей АЦ40Х2НМАФ и АЦ30Х3НМАФБ - закалка с температуры 930°C в масло и отпуск при 630°C; для стали 18ХГР – закалка с 860°C в воду и отпуск при 200°C с охлаждением на воздухе. Для определения твердости применяли приборы ТШ-2М и ТК-2М, а микротвердости – прибор «Дуримет». Усталостная прочность на изгиб коленчатых валов оценивалась путем нагружения щеки переменным изгибающим моментом, а на кручение – путем нагружения шатунной шейки переменным крутящим моментом. Испытания шатунов проводили по знакопеременному циклу нагружения с воспроизведением гидродинамики в подшипнике скольжения кривошипной головки при растягивающем напряжении от 4 до 8 тн и двойной амплитуде цикла от 14 до 24 тн. Обрабатываемость резанием оценивалась в лабораторных и производственных условиях на автоматических

линиях при механической обработке заготовок коленчатого вала, шатунов и зубчатых колес двигателя и мостов автомобиля.

Результаты исследования

В табл. 1 представлено содержание химических элементов в стали АЦ40Х2НМАФ, выплавленной в мартеновской печи, обработанной синтетическим шлаком и прокатанной на квадрат 154±2 мм на Серовском металлургическом заводе; и в стали АЦ30Х3НМАФБ, выплавленной и прокатанной на круг 70 мм в ПО «Ижсталь». Эти марки стали упрочнены за счет легирования азотом, ванадием и ниобием.

Таблица 1

Химический состав сталей

| Сталь | Содержание химических элементов, % | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| | C | Si | Cr | Ni | Mn | Mo | V | P | S | Nb |
| АЦ40Х2НМАФ | 0,37 | 0,20 | 2,12 | 0,72 | 0,45 | 0,11 | 0,11 | 0,025 | 0,007 | - |
| АЦ30Х3НМАФБ | 0,31 | 0,24 | 2,54 | 0,74 | 0,40 | 0,20 | 0,07 | 0,021 | 0,011 | 0,03 |

В состоянии поставки загрязненность стали АЦ40Х2НМАФ оксидами и сульфидами не превышала 2,5 балла, а стали АЦ30Х3НМАФБ – оксидами не более 3 балла, сульфидами – 2 балла и нитридами – 1 балл. Механические свойства термически обработанной стали находятся на высоком уровне и выше, нежели чем у серийно используемых сталей 42ХМФА и 40ХН2МА для коленчатых валов и шатунов двигателя (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства сталей

| Сталь | Показатели свойств | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | σ_B , Н/мм ² | σ_T , Н/мм ² | δ , % | Ψ , % | КСУ, Дж/см ² | НВ |
| АЦ30Х3НМАФБ шатуны | 1210 (1000) | 1080 (850) | 12,5 (12) | 56 (55) | 110 (100) | 334 (287) |
| АЦ40Х2НМАФ коленчатый вал | 1110 (850) | 1030 (730) | 12,5 (12) | 54,0 (42) | 88 (80) | 321 (255) |

Примечание. В скобках указаны минимальные значения свойств в состоянии поставки для стали 40ХН2МА (шатуны) по ГОСТ 4543-71 и для стали 42ХМФА (коленчатый вал) по ТУ 14-1-5520-2005.

В процессе изготовления поковок, предусматривающего индукционный нагрев заготовок до температуры 1260±20°С, пластическую деформацию и термическую обработку, установлена технологичность сталей с нитридванадиевым упрочнением на данных стадиях обработки. Оптимальный уровень прочностных и пластических свойств сталей получен в результате термической обработки поковок, включающей аустенизацию при температуре 930±20°С, закалку в масло и отпуск при 630±20°С с последующим охлаждением в масло. Более высокая температура (930°С) нагрева сталей под закалку по отношению к сталям 42ХМФА и 40ХН2МА (860°С) объясняется механизмом нитридванадиевого упрочнения. Однако такое повышение температуры может привести к уменьшению межремонтных периодов термических агрегатов и снижению стойкости жаропрочных материалов.

Механическая обработка заготовок шатуна в количестве 1000 шт. на автоматической линии показала высокую технологичность стали АЦ30Х3НМАФБ на различных операциях резания. Твердость заготовок находилась в пределах 255-302 НВ, а микроструктура соответствовала сорбиту отпуска (табл. 3).

Анализ обрабатываемости заготовок коленчатого вала показал, что основной лимитирующей стадией процесса резания являются операции глубокого сверления,

характеризуемые показателем $L/D > 3$ (L - длина отверстия, D - диаметр сверла). Затруднение при механической обработке выразилось в налипании материала заготовок на режущий инструмент и образованием плохо удаляемой стружки из зоны резания, что служило причиной поломки сверл $\varnothing 5,5 \div 10,0$ мм. Учитывая взаимосвязь обрабатываемости резанием со свойствами материала, параметрами режима резания и конструктивных особенностей инструмента, исследована возможность улучшения обрабатываемости на операциях сверления заготовок из комплексно легированной термоулучшаемой стали АЦ40Х2НМАФ. Установлено, что оптимальными параметрами при сверлении заготовок из новой стали являются:

- для сверл $\varnothing 5,5$ мм и $\varnothing 5,7$ мм – подача 0,1 мм/об при скорости 660 об/мин,
- для сверл $\varnothing 8,5$ мм и $\varnothing 8,7$ мм – подача 0,17 мм/об при скорости 400 об/мин,
- для сверл $\varnothing 9,0$ мм и $\varnothing 10,0$ мм – подача 0,15 мм/об при скорости 360 об/мин.

Основное внимание при опытно-промышленном апробировании уделено показателям служебных свойств деталей – их усталостной прочности. Стендовые испытания деталей из опытной стали показали, что пределы выносливости коленчатых валов составляют: на изгиб – 1000 кг·м, на кручение – 900 кг·м, что превышает эти показатели свойств для применяемой в настоящее время стали 42ХМФА (900 и 800 кг·м соответственно).

Интерес представляют результаты усталостных испытаний шатунов, что объясняется дополнительной разработкой новой технологии термической обработки стали АЦ30Х3НМАФБ, структура и твердость деталей указаны в табл. 3.

Таблица 3

Свойства стали АЦ30Х3НМАФБ после термической обработки

| $T_{\text{ауст}}^{\circ\text{C}}$ | Режим термообработки | | Охлаждающая среда | Структура | Твердость, НВ |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|---------------|
| | Охлаждающая среда | $T_{\text{отп}}^{\circ\text{C}}$ | | | |
| 940 | Воздух | 650 | Воздух | Сорбит | 285 |
| 930 | Масло | 650 | Масло | Сорбит | 302 |
| 930 | Воздух | 705 | Масло | Сорбит | 278 |
| 950 (температура окончания штамповки) | Воздух (2-5°C/c) на конвейере | 705 | Воздух | Сорбит + Феррит | 255 |

Видно, что во всех случаях в стали формируется сорбитная структура. Незначительное снижение твердости наблюдается у деталей, термическая обработка которых включала реализацию ковочного тепла заготовок. Результаты стендовых испытаний деталей показали, что предел усталости всех опытно-промышленных деталей составил на сжатие 6 тн при двойной амплитуде цикла 24 тн, что на 50% превышает аналогичные показатели деталей, изготовленных из стали 40ХН2МА. Следует также отметить, что наличие дробенаклепа поверхности деталей дополнительно повышает выносливость шатунов, что подтверждено металлографическими исследованиями, изучением микротвердости поверхности и усталостными испытаниями.

Особое значение приобретают вопросы выбора сталей для зубчатых колес. Шестерни ведущих мостов грузовых автомобилей испытывают в эксплуатации целый спектр изменяющихся статических и динамических нагрузок. Широко применяемые стали, такие как 20ХГНМТА, 25ХГТ и другие [1], приводят к преждевременному выходу из строя деталей из-за поломки зубьев. Одной из причин низкой стойкости шестерен служит высокая твердость в сердцевине детали, оцениваемая, согласно нормативным документам, на расстоянии 2/3 от вершины зуба по его осевой линии.

В подтверждение изложенному убедительно свидетельствуют и результаты стендовых испытаний деталей с различной твердостью в сердцевине зуба шестерни (табл. 4).

Таблица 4

Влияние твердости сердцевины зуба шестерни на стойкость при стендовых испытаниях (сталь 20ХГНМТА)

| № п/п | Прокаливаемость Π_{9}^{HRC} | Твердость, HRC | | Глубина* цементованного слоя | Стойкость детали, ч |
|-------|---------------------------------|----------------|------------|------------------------------|---------------------|
| | | поверхности | сердцевины | | |
| 1 | 43,5 | 61,5 | 44,0 | 1,20 | 2,55 |
| 2 | 39,0 | 61,5-62,0 | 36,0 | 1,15 | 4,10 |

Примечание. * Глубина цементованного слоя определена во впадине зуба – наиболее опасном сечении.

Ключевое влияние на этот показатель свойств, безусловно, оказывает прокаливаемость стали. Очевидно, чем выше прокаливаемость и меньше геометрические параметры изделия, тем выше твердость в сердцевине детали. Установлено, что твердость в сердцевине зуба шестерен с модулем 5 мм после ХТО на 8-10 HRC выше, чем твердость определенная на рекомендуемом расстоянии 9 мм от охлаждаемого торца стандартного образца по ГОСТ 5657-69 (рис. 1). Только на шестернях с модулем более 8,0 мм достигается аналогичная величина твердости, что и прокаливаемость стали на указанном расстоянии от торца образца [2].

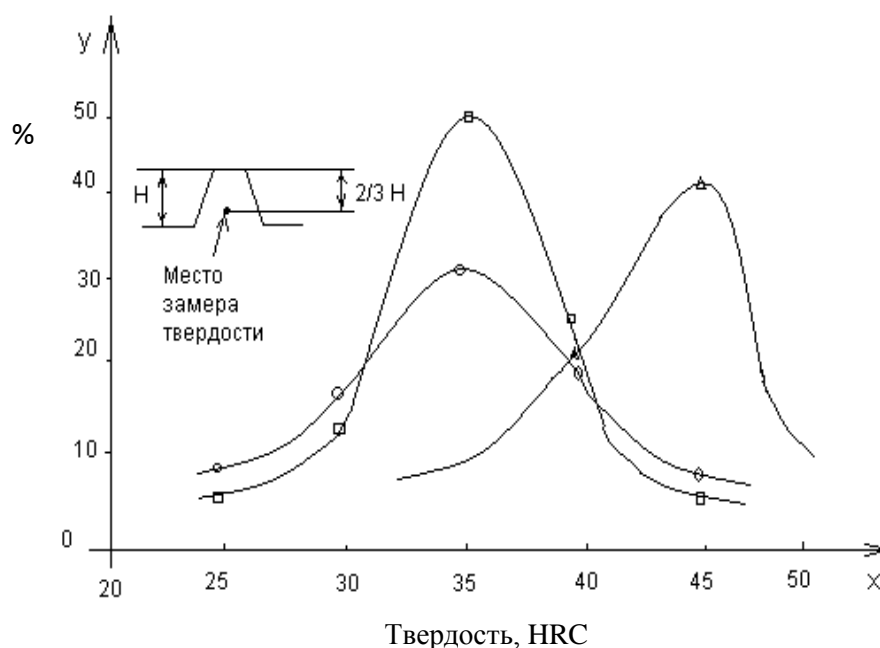


Рис. 1. Частота (%) распределения твердости сердцевины зуба шестерен с различным модулем после ХТО. Сталь 20ХГНМТА. Количество партий деталей – 85 шт:

○ – исходное состояние стали (Π_{9}^{RC}); Δ – модуль $m=5$ мм; □ – модуль $m=8.7$ мм

Данные результаты свидетельствуют о необходимости регламентирования прокаливаемости стали на различном расстоянии от охлаждаемого торца образца с учетом масштабного фактора детали. Для шестерен первоочередным условием является модуль зуба.

В настоящее время успешно завершено испытание экономнолегированной стали марки 18ХГР, для мелко- и крупномодульных шестерен коробки передач и главных мостов автомобиля «КАМАЗ». К новой стали предъявляются требования по химсоставу и прокаливаемости (табл. 5, 6). Как показали исследования, механические свойства стали превышают значения, предусмотренные для стали 20ХГНМТА (табл. 7), которые достигаются за счет одновременного модифицирования сплава бором и алюминием. Опытная

сталь выплавляется на Оскольском электрометаллургическом комбинате и прокатаывается на Ø90 мм из непрерывно-литой заготовки сечением 360×300 мм (степень деформации составила более 6,0).

Таблица 5

Химический состав сталей

| Сталь | Содержание химических элементов, % | | | | | | | | | |
|----------|------------------------------------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-------------|---------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Ti (B) | Al | S | P |
| 20ХГНМТА | 0,18-0,23 | 0,17-0,37 | 0,8 – 1,10 | 0,8-1,1 | 0,8-1,1 | 0,2-0,3 | 0,03-0,09 | - | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 |
| 18ХГР* | 0,14-0,20 | 0,15-0,40 | 1,10-1,35 | 1,1-1,35 | 0,15-0,30 | 0,04-0,12 | 0,002 (0,001-0,003) | 0,02-0,05 | 0,020-0,035 | ≤ 0,025 |

Примечание. *Суммарное содержание Mn, Cr, Ni и Mo должно быть от 2,5 до 3,05%.

Таблица 6

Прокаливаемость сталей

| Сталь | Твердость (HRC) на расстоянии от закаленного торца, мм | | | | | | | НТД |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|------|------|-------------------|
| | 5 | 9 | 10 | 15 | 25 | 40 | 50 | |
| 20ХГНМТА | - | 30-40 | - | 24-38 | - | ≤ 25 | - | ТУ 14-1-5509-2005 |
| 18ХГР | 37-43 | - | 33-39 | - | 25-31 | - | ≥ 22 | ТУ 14-1-5561-2008 |

Таблица 7

Механические свойства сталей

| Сталь | $\sigma_{\text{в}}$, Н/мм ² | σ_{T} , Н/мм ² | δ , % | Ψ , % | КСУ, Дж/см ² | НВ |
|----------|---|---|--------------|------------|-------------------------|-----|
| 20ХГНМТА | ≥ 1300 | ≥ 1100 | ≥ 11 | ≥ 50 | ≥ 78 | - |
| 18ХГР * | 1485 | 1350 | 13,5 | 59 | 94,5 | 363 |

Примечание.* Химический состав плавки: C-0,18%; Si-0,28%; Mn -1,21%; Cr -1,22%; Ni – 0,26%; Mo – 0,09%; B -0,002%; S – 0,029% и P – 0,018%.

Для обеспечения удовлетворительной обрабатываемости резанием заготовок на автоматических линиях они после горячей объемной штамповки подвергаются изотермическому отжигу (рис. 2). После термической обработки в стальных заготовках стабильно формируется феррито-перлитная структура, а величина твердости находится в пределах 163-197 НВ. Обязательным условием при выборе параметров отжига является необходимость ускоренно-прерывистого циклического охлаждения заготовок с температуры аустенитизации до температуры максимальной скорости перлитного превращения [3] и проведение изотермической выдержки со ступенчатым понижением температуры от 680 до 600°С [4].

Важным условием для сталей подвергаемым горячим видам обработки является размер аустенитного зерна, который влияет на усталостную прочность деталей. Известно, что при крупнозернистом строении усталостная прочность на изгиб в ножке зуба снижается на 25%, а на кручение – на 40%. Для стали 18ХГР температурная зависимость показала, что порог роста зерна в ней находится при температуре 940°С и выше. Данная информация свидетельствует об ограничении температуры аустенитизации при отжиге заготовок и температуры насыщения деталей при цементации в процессе химико-термической обработки.

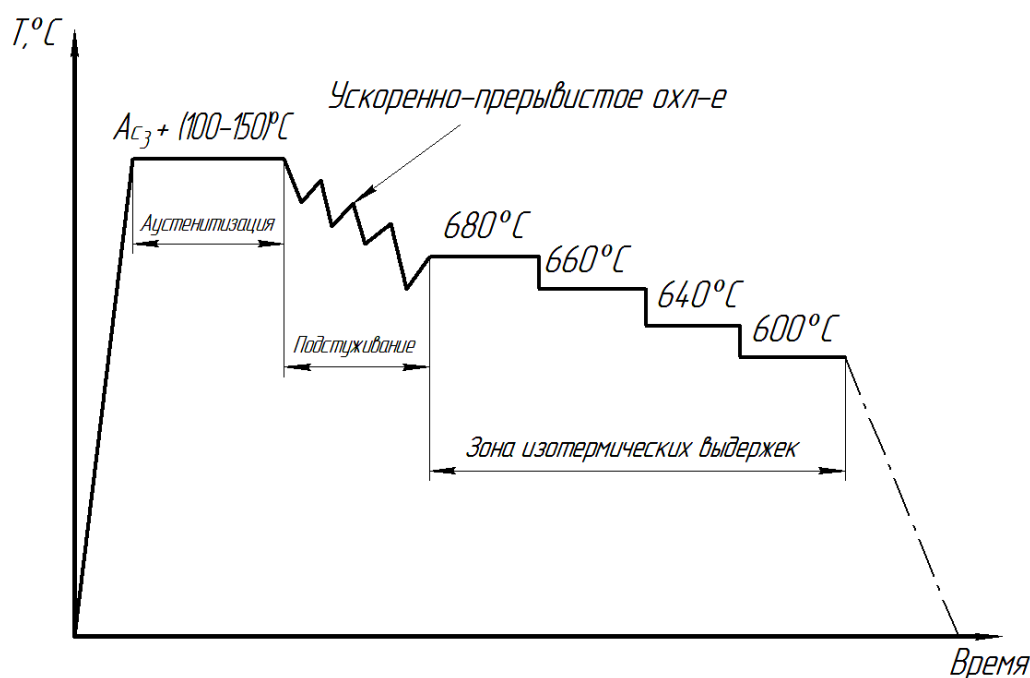


Рис. 2. Схема унифицированной технологии при производстве заготовок из цементуемых легированных сталей

Высокие показатели свойств достигнуты на цементованных шестернях: твердость поверхности 59-62 HRC; эффективная глубина насыщения (до 610 HV) составила $0,7 \div 0,8$ мм; количество остаточного аустенита в упрочненном слое не превышало 25%; содержание углерода на расстоянии 0,1 мм от поверхности составляло 0,7-0,85%; твердость в сердцевине – 37-38 HRC; величина зерна – 7-8 балл; динамическая сила разрушения зуба с модулем 8,7 мм превысила 54 кН при норме не ниже 49 кН.

Выводы

1. Высокие показатели механических свойств сталей АЦ40Х2НМАФ и АЦ30Х3НМАФБ, полученные при статических и динамических испытаниях, позволяют рекомендовать их для изготовления тяжелонагруженных деталей – коленчатых валов и шатунов автомобиля.

2. Экономнолегированная цементуемая сталь 18ХГР показала высокую технологичность, обладает необходимым уровнем механических свойств и с успехом может применяться для шестерен грузовых автомобилей.

3. Установлена возможность закалки на воздухе шатунов из стали АЦ30Х3НМАФБ, с температуры окончания штамповки ($\sim 950^\circ\text{C}$) с обеспечением высокого уровня её свойств после высокого отпуска.

Библиографический список

1. **Лахтин Ю.М.** Термическая обработка в машиностроении: справочник / Ю.М. Лахтина; под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
2. **Астащенко, В.И.** Технологические методы управления структурообразованием стали при производстве деталей машин / В.И. Астащенко, В.Г. Шибиков. – М.: Academia, 2006. – 328 с.
3. **Пат. № 1301856** Российская Федерация, МКИ³ С21Д ¹/₇₈. Способ термической обработки заготовок / Астащенко В. И., Янцен Г. И., Ивановский С. В.; заявитель и патентообладатель Камское объединение по производству большегрузных автомобилей. - №4015708/22-02; заявл. 14.11.85.

4. Пат. №1534067 Российская Федерация, МКИ³ С21Д¹/₂₆. Способ термической обработки заготовок/ Асташенко В. И., Янцен Г. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель Камское объединение по производству большегрузных автомобилей.-№4438814/23-02; заявл. 08.06.88; опубл. 07.01.90 Б.И. №1.

*Дата поступления
в редакцию 20.06.2013*

V.I. Astashchenko, A.I. Shveev, T.V. Shveeva, I.N. Halikov

**PERSPECTIVE BECAME FOR THE TYAZHELONAGRUZHENNYKH
OF DETAILS OF THE CAR**

Naberezhnochelninsky Institute (branch)Kazan (Volga) Federal University,
Naberezhnye Chelny

Complex researches of mechanical and technological properties of steels AC40H2NMAF and AC30H3NMAFB are carried out. Advantages of new steels and a part of increase static and dynamic characteristics are shown. Use of such steels for manufacturing of hard loaded details-cranked of shaft and engine rods is recommended. Efficiency of application of a steel 18HGR for cogwheels is shown.

Key words: thermal processing, steel, deformation, structure, hardness.

УДК 621.746.019

М.В. Александров¹, Д.Г. Чистяков²**ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ В ДЕТАЛЯХ СТЕКЛОФОРМ ИЗ ЧУГУНОВ С РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ ГРАФИТА**Госуниверситет-УНПК, Орел¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Выполнен анализ особенностей эксплуатации деталей стеклоформ и определены факторы, влияющие на их стойкость. Описано комплексное влияние скорости затвердевания и способа модифицирования расплава чугуна на процесс графитообразования. Показана возможность управления структурой чугуна и его свойствами, в частности, величиной предела прочности и теплопроводностью посредством изменения интенсивности теплообмена между отливкой и формой. Получена градиентная структура чугуна, обеспечивающая высокую термостойкость деталей стеклоформ.

Ключевые слова: чугун, отливка, стеклоформа, модифицирование, скорость затвердевания, графит компактной формы.

Введение

Одним из важнейших искусственных материалов, прочно вошедшим в технические устройства и агрегаты машиностроения, является стекло. Основным технологическим свойством, отличающим его от других материалов, является способность поддаваться самым разнообразным способам формования без нарушения целостности изготавливаемого изделия. При этом самым распространенным способом изготовления полых стеклянных тар, за счет своей производительности и широкого спектра возможных вариантов изготавливаемых изделий, является выдувание. Этот способ формования является специфичным для стекла, так как базируется на использовании зависимости вязкости и поверхностного натяжения стекломассы от ее температуры. При формировании стеклоизделий необходимо постоянство устанавливаемого температурного режима не только самой заготовки, но и формооснастки.

Формооснастка – это совокупность деталей, характеризующих формовой комплект для литья стеклоизделий, обеспечивающая создание стеклоупаковки от капли расплавленного стекла (с температурой до 1200°C) до конкретной бутылки, банки, флакона и т.п.

В условиях перехода стеклозаводов на новые высокопроизводительные секционные стеклоавтоматы резко ужесточились требования к минимальному количеству съёмов стеклоизделий в пересчете на один формокомплект, которые составляют не менее 1 млн штук. При этом на данный момент стойкость деталей стеклоформ, зависящая от режима работы стекловыдувных автоматов и скорости попадания расплавленного стекла во внутреннюю полость формокомплекта, не превышает 0,55 млн стеклоизделий с одной формы, что не удовлетворяет современным требованиям производства.

Традиционным материалом для деталей стеклоформ является чугун, обладающий оптимальным сочетанием механических, теплофизических, технологических и литейных свойств. В качестве материала для черновых форм (металлоконструкций, в которых выдувается стеклоизделие предварительной конфигурации) применяют серые чугуны с пластинчатым графитом (СЧПГ), обладающие высокой теплопроводностью и легко поддающиеся упрочняющей наплавке. Чистовые формы (металлоконструкции, в которых выдувается изделие потребительских размеров и формы) изготавливают из чугунов с вермикулярным (ЧВГ) и/или шаровидным (ЧШГ) графитом, ввиду их высокой прочности и циклической вязкости.

В процессе эксплуатации в стеклоформе возникают значительные термические напряжения вследствие чередующихся резких нагревов (при соприкосновении стекломассы с металлоформой) и охлаждений. Согласно [1] средняя температура поверхности стекломассы при выдувании в чистовой форме узкогорлой тары составляет 891°C , тары с широким горлом – 926°C . При этом время процесса выдувания составляет $0,6...0,8$ с.

По данным стекольных заводов (ОАО "Березичский стекольный завод", Калужская обл.; ООО "Каменский стеклотарный завод", Ростовская обл.; ООО "ЧСЗ-Липецк", Липецкая обл.) температура внутренней поверхности стеклоформы достигает $550...750^{\circ}\text{C}$, в то время как её наружная поверхность нагревается лишь до $230...280^{\circ}\text{C}$. В результате такого перепада температур возникают внутренние напряжения, приводящие к короблению деталей стеклоформ и, в конечном счете, снятию с производственной линии (их ремонтонепригодности) [2, 3].

Наиболее нагруженным в ходе эксплуатации стеклоформ является поверхностный ("рабочий") слой толщиной от 1 до 10 мм, который, во-первых, испытывает значительный тепловой удар при выдуве стеклоизделия, и, во-вторых, подвержен механическому, термическому и химическому воздействию стекломассы, что вызывает сложное напряженно-деформированное состояние стеклоформы. В этом слое наблюдается максимальный температурный перепад по толщине стенки детали, а интенсивность теплового удара может достигать $250^{\circ}\text{C}/(\text{мм}\cdot\text{с})$. За счет этого происходит накопление пластической деформации и истощение запаса пластичности материала [4].

Кроме знакопеременных термических напряжений в материале формы могут протекать сложные структурные изменения и химические процессы различной направленности. При нагревании чугуна происходит его графитизация (при температуре выше 480°C) и окисление (при температуре выше 620°C), протекающие с необратимым увеличением объема детали. Суммарное расширение материала стеклоформы в итоге определяется величиной термического расширения, газонасыщением и степенью графитизации чугуна. Из-за растяжения, возникающего в металле, основной материал детали ослабевает вблизи границ графитовых включений и дает возможность проникнуть внутрь кислороду [5]. Интенсивность обезуглероживания матрицы зависит от теплового нагружения металлоформы. В местах частичного или полного выгорания графита создаются благоприятные условия для образования зон окисления разной плотности и глубины залегания. Глубина распространения окислительных процессов зависит во многом от природы формирования и наличия несплошностей в чугуне. Присутствие на рабочей поверхности стеклоформ пористости также оказывает отрицательное влияние на их технологические свойства, интенсифицируя процессы окисления и трещинообразования. Для получения беспористой рабочей поверхности применяют следующие способы воздействия на корковый слой отливки [6]:

- добавляют в облицовочные смеси и противопопригарные краски материалы, которые после заливки жидкого чугуна расплавляются и способствуют спеканию поверхности песчаной формы, обеспечивая направленный газовый поток [7];
- остекляют поверхность литейной формы, изготовленной из песчаной жидкостекольной смеси или покрытой специальным составом [8]. Остекление проводят нагревом поверхности плазменной или газовой горелкой до установления устойчивого высокотемпературного соединения дикремниевой кислоты, которое и переводит поверхность формовочной смеси в твердое остекленное состояние.

Все эти меры, так или иначе, способствуют ориентации тепловых потоков при кристаллизации отливки, что обуславливает формирование требуемой определенной структуры литья. Однако наиболее эффективным и технологически оправданным методом обеспечения направленного затвердевания чугунной отливки является применение внешних металлических холодильников [5].

Материалы деталей стеклоформ, непосредственно соприкасающиеся со стекломассой,

должны иметь высокие механические и технологические свойств на стадии изготовления из них металлоизделия, а также обладать повышенной теплопроводностью, ростоустойчивостью и окалиностойкостью, иметь минимальную диффузию отдельных элементов при циклическом воздействии температур, противостоять термической усталости и коррозии, в условиях высоких температур на стадии процесса эксплуатации металлоформ.

Первым показателем, определяющим стойкость стеклоформ, является микроструктура чугуна на глубине 5...15 мм, которая соответствует зоне “рабочего” слоя формы после механической обработки. Необходимо получение на рабочей поверхности стеклоформ очень мелкого и однородного графита с целью улучшения обрабатываемости, полировки поверхности и повышения трещиностойкости металлоформ при циклическом воздействии высоких температур [9, 10].

Другим показателем, определяющим теплопроводность и отсутствие коробления форм, является микроструктура чугуна на глубине 25...40 мм. Основным требованием, предъявляемым к структуре слоев на таких глубинах в отливках для деталей стеклоформ, является наличие крупных включений пластинчатого и/или вермикулярного (в некоторых случаях шаровидного) графита, обеспечивающих высокую теплопроводность и соответственно пониженные термические напряжения в эксплуатируемых деталях [11]. Теплопроводность повышается также с увеличением количества феррита в структуре матрицы чугуна, что обуславливает применение для деталей такого типа именно ферритной металлической основы [10, 12].

Возможность получения подобной градиентной¹ структуры зависит, в первую очередь, от технологии изготовления отливок стеклоформ. Поэтому основная задача обеспечения качества и повышения эксплуатационной стойкости стеклоформ сводится к разработке технологических способов управления процессом формирования микроструктуры чугуна, обеспечивающей стабильное получение требуемых структурных параметров и механических свойств отливки.

Постановка задачи

Интенсивность отвода тепла от отливки в период ее затвердевания обуславливает, при постоянстве других прочих условий, скорость перемещения по ее сечению фронта кристаллизации и, как следствие, переходной области “отбел – масса чугуна”, что в итоге формирует температурный градиент затвердевания, от которого и будет зависеть ширина переходной области в толще отливки. Эти факторы оказывают непосредственное влияние на формирование структуры и свойств кристаллизующегося сплава.

В работах [13,14] отмечается, что кристаллизация различных форм графита определяется скоростью затвердевания и химическим составом чугуна, а при определенных условиях в одной отливке могут иметь место сразу несколько форм графита. Ввиду этого возрастает необходимость определения количественной зависимости морфологии графита от скорости затвердевания отливок стеклоформ.

На основании изложенного в рамках исследования требуется проведение экспериментальных работ, направленных на изучение влияния скорости затвердевания расплава чугуна на величину, распределение и форму включений графита с целью получения градиентной структуры, обеспечивающей высокую эксплуатационную стойкость деталей стеклоформ.

В качестве объектов исследования были выбраны:

- изменчивость графитовой фазы чугуна в температурном поле затвердевания отливки;
- комплексное влияние на структуру и свойства чугуна скорости затвердевания отливки, способа модифицирования расплава и химического состава модифицирующих реагентов.

¹ Данный термин применен в работе для обозначения требуемой "двухслойной" структуры деталей стеклоформ.

Конечной целью исследования является анализ динамики изменения микроструктуры и механических свойств деталей стеклоформ при регулировании скоростями затвердевания отливки и величиной навески модификатора.

Исследование влияния скорости затвердевания отливок на формирование микроструктуры и свойств деталей стеклоформ из СЧПГ

Важнейшими критериями определения эксплуатационных свойств деталей стеклоформ, формирующими заключение технологов на допуск металлоизделий к стекловудной производственной линии, являются предел прочности и величина теплопроводности стеклоформ.

Как показывает опыт стекольных заводов, предел прочности чугуна, обеспечивающий высокую эксплуатационную стойкость деталей черновых форм, должен быть не менее 220 МПа. При этом средняя теплопроводность по сечению черновой формы должна быть не менее 40 Вт/(м·К). На основании этих данных в рамках исследования была проведена работа, направленная на определение зависимости предела прочности чугуна от скорости затвердевания отливки. Образцы для определения предела прочности вырезались из различных участков массивной чугунной отливки сечением 120x120 мм и высотой 240 мм (рис. 1).

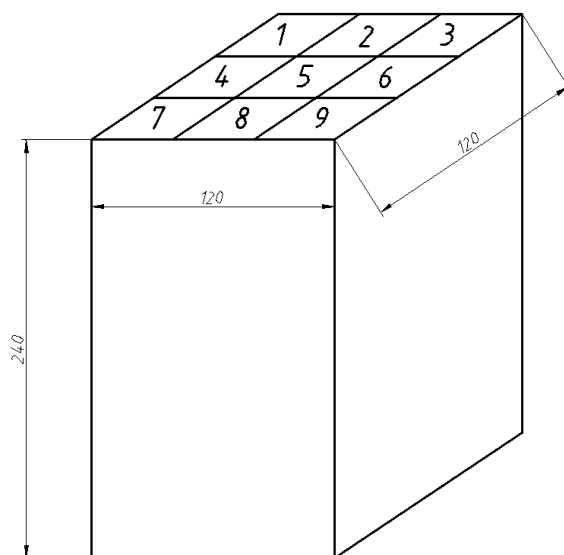


Рис. 1. Схема расположения вырезаемых образцов для определения предела прочности чугуна

С целью регулирования скорости затвердевания расплав чугуна заливали в формы из ПГС, ХТС и кокили. Скорость затвердевания рассчитывали по формулам, предложенным Г.Ф. Баландиным [15].

Отливки получали из чугуна следующего химического состава, %: 3,4С, 1,9Si, 0,4Mn, 0,05S, 0,07P. Температура изотермической выдержки составляла 1430...1450°С, температура заливки чугуна – 1340...1350°С.

На основе полученных экспериментальным путем данных был построен график зависимости предела прочности чугуна от скорости затвердевания отливки (рис.2). Математическая обработка данных, проводимая для визуализации динамики процесса затвердевания отливки, осуществлялась в MS Excel.

Объемная доля графита в структуре чугуна, как функция скорости затвердевания расплава, показана на диаграмме на рис. 3 (x – расстояние от поверхности затвердевания, мм).

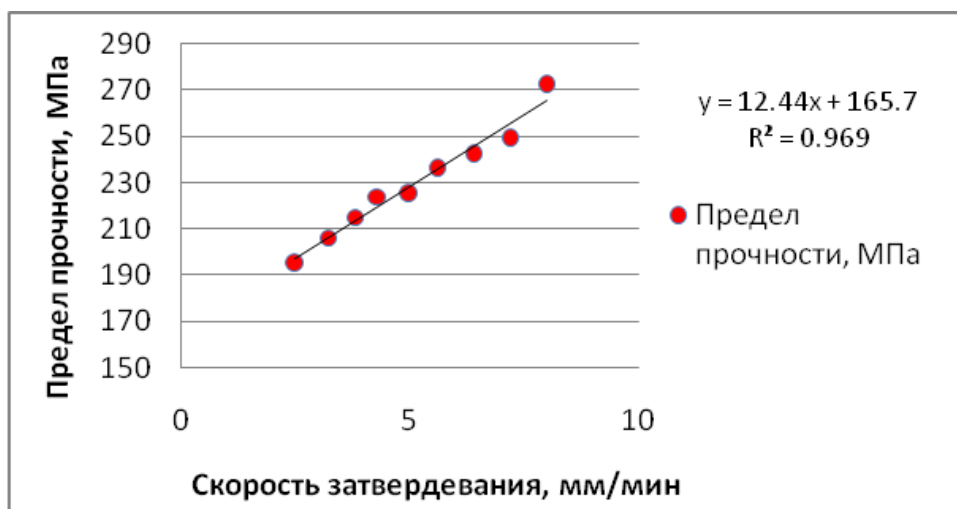


Рис. 2. Зависимость предела прочности чугуна от скорости затвердевания отливки

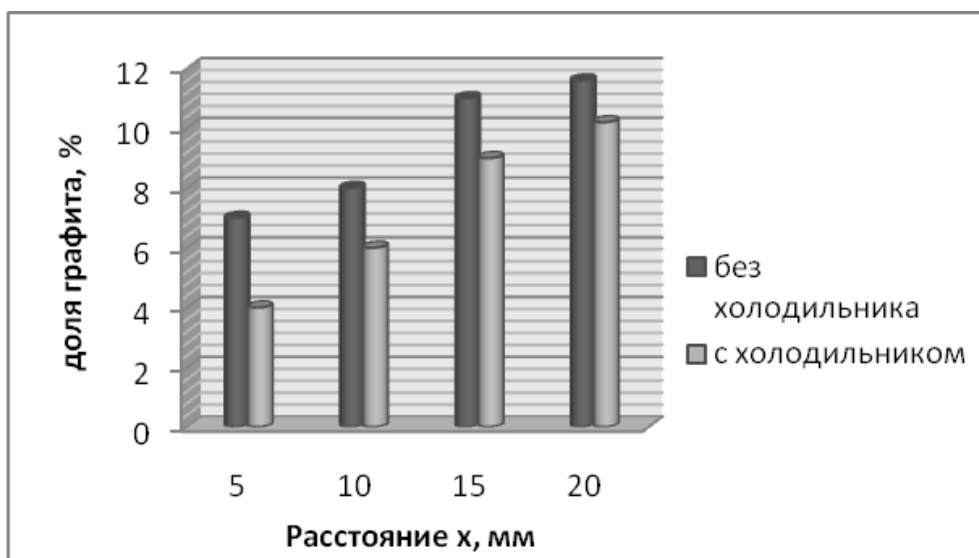


Рис. 3. Распределение графита по толщине стенки опытной отливки

Данные измерения предела прочности образцов при различных условиях охлаждения, а также значения теплопроводности, твердости и структурных параметров образцов приведены в табл. 1. На рис. 4 представлена структура графита в исследуемых образцах.

Установлено, что образцы из различных частей отливки имеют существенные отличия по механическим свойствам. Наибольший предел прочности при растяжении был у образцов 1,3,7,9 при затвердевании отливки в кокиле, наименьший – у образца 5 из центральной части отливки затвердевающей в песчано-глинистой форме.

Анализ данных показал, что скорость затвердевания чугуна < 4 мм/мин является недостаточной для получения необходимой прочности деталей стеклоформ.

Низкие значения прочности образцов из центральной части исследуемых отливок связаны как с их “грубой” структурой, так и с повышенной пористостью [13].

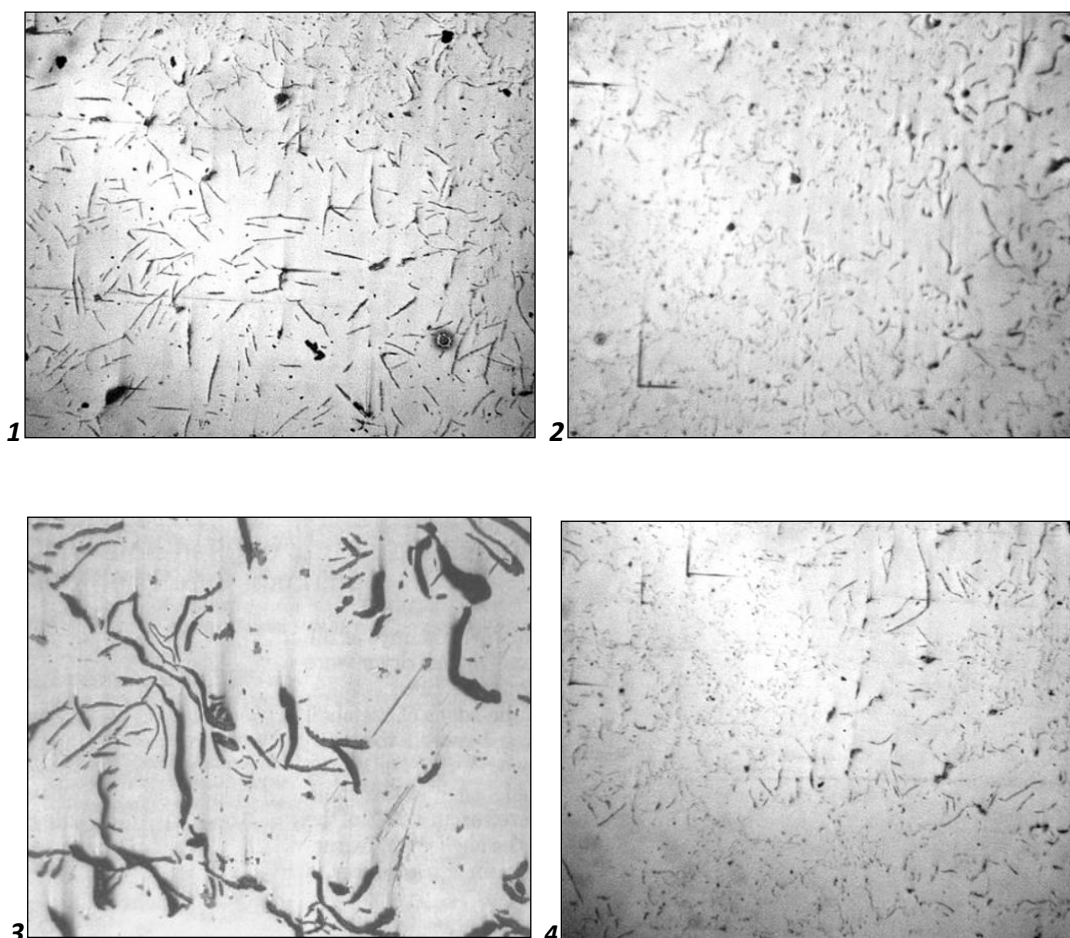
Полученные экспериментальные данные о формировании механических свойств отливок показали, что для повышения их прочности требуется интенсификация процесса теплообмена между отливкой и формой, что достигается применением металлических форм или холодильников.

Таблица 1

Параметры структуры и свойства исследуемых образцов

| Вид формы | Предел прочности, МПа | | | Твердость, НВ | | | Графит (ГОСТ 3443-87) | | | Теплопроводность, Вт/м·К | | | Пористость, % | | |
|-----------|-----------------------|---------|-----|---------------|---------|-----|-----------------------|----------------|------------------|--------------------------|---------|----|---------------|---------|-----|
| | № образца | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,3,7,9 | 2,4,6,8 | 5 | 1,3,7,9 | 2,4,6,8 | 5 | 1,3,7,9 | 2,4,6,8 | 5 | 1,3,7,9 | 2,4,6,8 | 5 | 1,3,7,9 | 2,4,6,8 | 5 |
| ПГС | 236 | 215 | 195 | 166 | 155 | 147 | ПГф1 ПГр1,9 | ПГф1 ПГр1,3 | ПГф1 ПГр1,2 | 50 | 52 | 54 | 4,0 | 6,7 | 8,2 |
| ХТС | 249 | 224 | 206 | 168 | 158 | 149 | ПГф1 ПГр1,9 | ПГф1 ПГр1,7 | ПГф1 ПГр1,2 | 47 | 48 | 51 | 3,2 | 5,1 | 7,6 |
| Кокиль | 272 | 242 | 225 | 182 | 176 | 163 | ПГф1 ПГр8 | ПГф1 ПГр1,9 | ПГф1,2 ПГр1,2 | 45 | 45 | 47 | 2,5 | 4,4 | 7,3 |

Повышение скорости затвердевания чугуна с 3 до 8 мм/мин путем применения металлических холодильников или литья в кокиль позволяет повысить предел прочности при растяжении СЧПГ с 190 до 270 МПа, при этом в массивных сечениях отливки также повышается теплопроводность чугуна с 45 до 54 Вт/(м·К) за счет увеличения количества и размеров графитовых включений.

Рис. 4. Структура графита в исследуемых образцах ($\times 200$):

1 - образец 4 (ХТС); 2 - образец 6 (кокиль); 3 - образец 5 (ПГС); 4 - образец 3 (кокиль)

Экспериментальные исследования по получению заданного структурного состояния и свойств деталей стеклоформ из ЧВГ и ЧШГ

Для выявления наилучшего способа ввода модификатора, его оптимальной навески для получения чугуна с компактной формой графита, а также для исследования динамики изменения морфологии графита в отливках чистовых стеклоформ было изготовлено четыре образца с различной технологией модифицирования [16]. Исследование микроструктуры проводили на следующих участках получаемых образцов:

1. Зона, прилегающая к “рабочей” поверхности отливки (непосредственно вблизи металлического холодильника);
2. Зона на глубине 10 мм от наружной поверхности отливки, затвердевающей в контакте с песчано-глинистой формой.

Способы обработки расплавов, применяемые в ходе исследования, представлены в табл. 2.

Внепечная обработка жидкого чугуна для выплавки образцов 1 и 2 осуществлялась по следующей технологии: сфероидизирующий модификатор помещался на дно разливочного ковша перед его наполнением и накрывался стальной высечкой, после чего ковш заполнялся расплавом на 2/3 и его заливка чугуном прекращалась. После окончания реакции расплава чугуна с магнийсодержащей лигатурой заливка ковша продолжалась с одновременной подачей на струю металла графитизирующего модификатора. Образцы 3 и 4 изготавливались по технологии, заключающейся в присадке графитизирующего модификатора совместно с магнийсодержащей лигатурой.

Таблица 2

Величины навесок применяемых модификаторов

| Образец | Применяемый модификатор | | | |
|---------|----------------------------------|-----------------|----------|-------------|
| | ФСМГ7 (изготовитель – РФ), кг | CompactMag™, кг | ФС75, кг | ФС65Ba4, кг |
| 1 | 0,50 | – | 0,15 | – |
| 2 | – | 0,21 | 0,15 | – |
| 3 | – | 0,21 | 0,10 | – |
| 4 | – | 0,22 | – | 0,15 |

Исследование микроструктуры образцов проводилось с использованием оптического микроскопа, оборудованного программным обеспечением фирмы Elkem AS Foundry Products (Норвегия) по автоматическому распознаванию снимков микроструктур. При этом определяли основной показатель, характеризующий степень шаровидности графита, – фактор формы F [17]:

$$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{D^2},$$

где A – площадь частицы; D – максимальный диаметр частицы по Фере².

Химический состав опытных образцов представлен в табл. 3 (образец 5 – базовый чугун предприятия). Обобщенные результаты исследований микроструктур полученных образцов представлены в табл. 4. На рис. 5 показаны снимки микроструктур исследуемых образцов в зоне, прилегающей к “рабочей” поверхности отливки, а также на глубине 10 мм от наружной поверхности отливки, затвердевающей в контакте с ПГФ.

² Линейный размер частицы как максимальная величина проекции ее изображения на горизонтальную и вертикальную оси

Таблица 3

Химический состав опытных образцов

| Химический элемент | Химический состав, % | | | | |
|--------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Образец 1 | Образец 2 | Образец 3 | Образец 4 | Образец 5 |
| C | 3,41 | 3,39 | 3,40 | 3,14 | 3,55 |
| Si | 2,59 | 2,34 | 2,26 | 2,98 | 1,96 |
| Mn | 0,353 | 0,353 | 0,352 | 0,351 | 0,366 |
| P | 0,029 | 0,030 | 0,029 | 0,030 | 0,030 |
| S | 0,016 | 0,018 | 0,019 | 0,019 | 0,020 |
| Mg (AAS) | 0,020 | 0,013 | 0,015 | 0,025 | 0,005 |
| Ce | 0,010 | 0,016 | 0,011 | 0,005 | 0,003 |
| La | 0,008 | 0,012 | 0,010 | 0,004 | 0,002 |
| Cu | 0,205 | 0,205 | 0,207 | 0,234 | 0,204 |
| Ni | 0,558 | 0,554 | 0,559 | 0,476 | 0,557 |
| Cr | 0,140 | 0,139 | 0,138 | 0,132 | 0,140 |
| Mo | 0,019 | 0,019 | 0,019 | 0,039 | 0,023 |
| Ca | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,007 | 0,003 |
| CE | 4,27 | 4,17 | 4,15 | 4,13 | 4,20 |

Таблица 4

Результаты исследования микроструктур³

| Образец | Исследованная площадь, мм ² | Количество включений вермикулярного графита/мм ² | Степень компактности включений, % | Графит, % | Феррит, % | Перлит, % | Средний размер включений графита, мкм | Фактор формы |
|---------|--|---|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|--------------|
| 1 | 5,2 | 141 | 64 | 10 | 71 | 19 | 29,3 | 0,58 |
| 2 | 5,2 | 196 | 79 | 8 | 70 | 22 | 27,9 | 0,48 |
| 3 | 5,2 | 182 | 77 | 10 | 65 | 25 | 30,1 | 0,52 |
| 4 | 5,2 | 38 | 31 | 8 | 78 | 14 | 30,5 | 0,80 |

Исследования микроструктур однозначно показали, что образцы 1, 2 и 3 имеют наиболее подходящую структуру для использования в качестве материала, как для черновых, так и для чистовых стеклоформ, ввиду сосредоточения наибольшего количества включений графита вермикулярной формы в глубинных слоях отливки, а также наличия шаровидного графита в зоне “рабочей” поверхности отливки. Образец 4 имеет структуру высокопрочного чугуна с шаровидным графитом по всему сечению отливки, что определяет использовать данный чугун в качестве материала для деталей чистовых стеклоформ. Все образцы характеризуются увеличением доли шаровидного графита на участках непосредственно прилегающих к “рабочей” поверхности. Так же было установлено, что химический состав образцов отличается друг от друга, различия особенно заметны в содержании C, Si, Mg, а также S. Подобные отклонения состава оказывают заметное влияние, как на микроструктуру образцов, так и на их свойства [12]. Однако твердость всех исследованных образцов находилась в пределах 174–197НВ, что соответствует требованиям стеклотарных заводов и значениям, регламентируемым ОСТ 21-75-88 “Формовые комплекты для стеклоформирующих машин. Общие технические условия”.

³ Усредненные данные, полученные на участке до 15 мм от “рабочей” поверхности каждого образца.

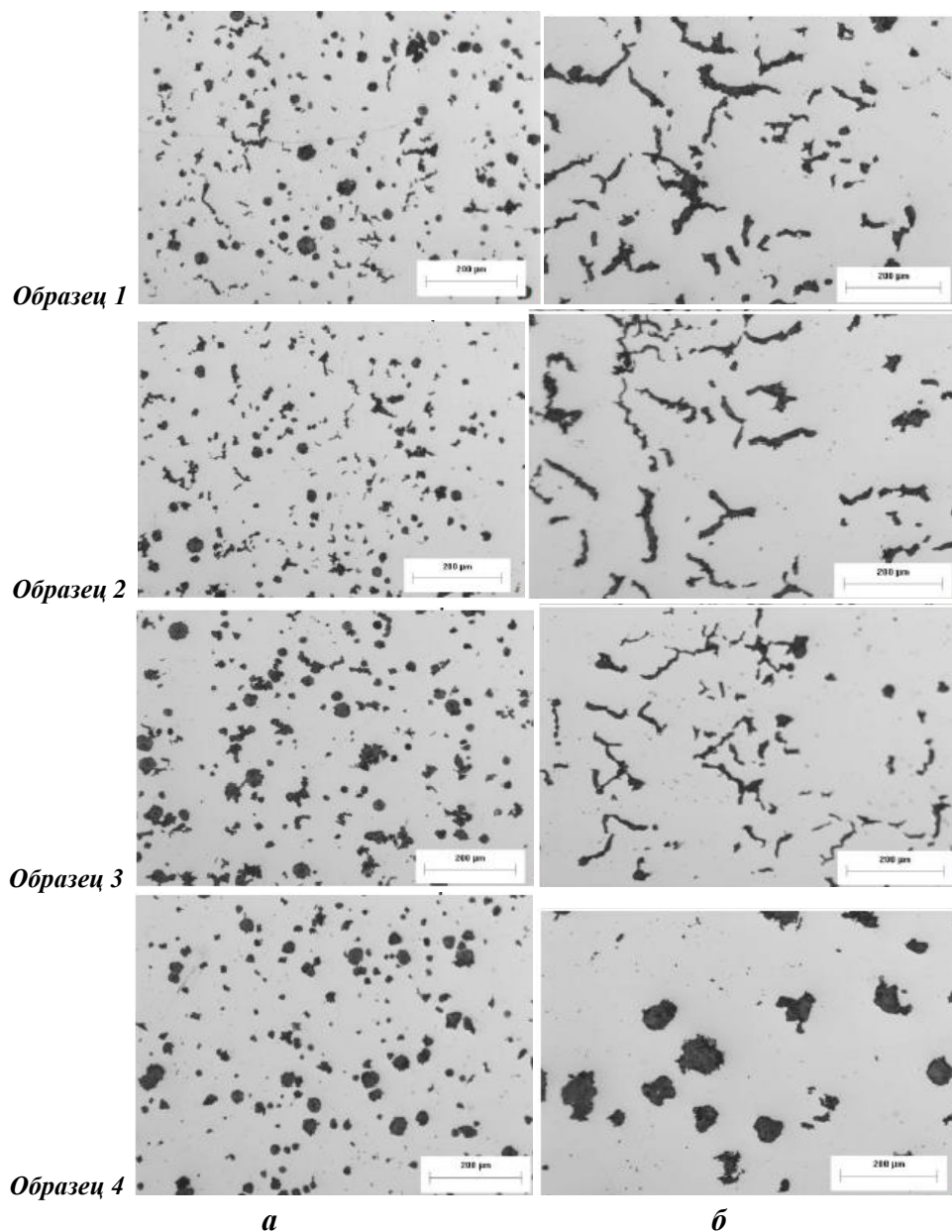


Рис. 5. Структура опытных образцов:
 а – в зоне рабочей поверхности отливки;
 б – на глубине 10 мм от наружной поверхности

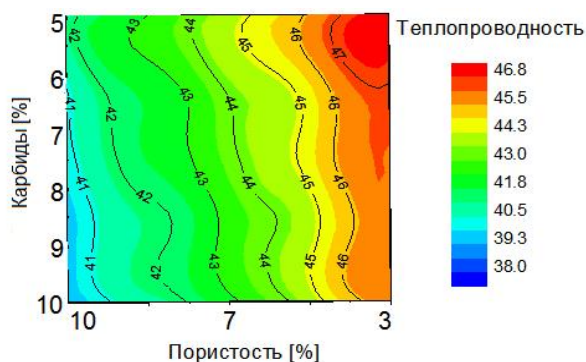


Рис. 6. Зависимость теплопроводности чугуна с вермикулярным графитом (CE=4,2%) от пористости и количества карбидов

При дальнейшем изучении характеристик отливок была установлена тенденция к

снижению объемной доли пор в структуре чугуна при использовании внешних металлических холодильников, что способствует повышению теплопроводности чугунного изделия в процессе его эксплуатации (рис. 6).

Одновременно с этим в процессе исследований была установлена зависимость предела прочности при растяжении чугунов от массы вводимого модификатора и его химического состава (рис. 7).

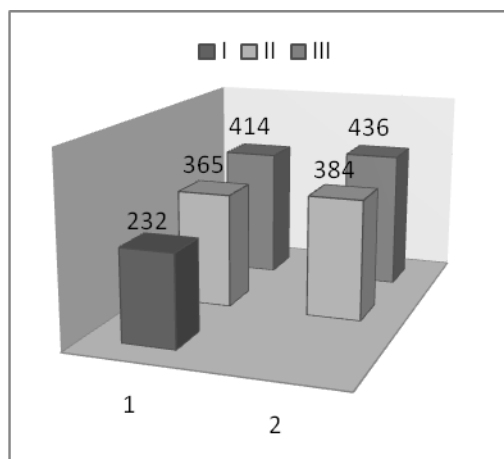


Рис. 7. Зависимость предела прочности (МПа) чугуна от массы вводимого модификатора и его состава:

I – без обработки; II – навеска 0,4% вес.; III – навеска 0,6% вес.,
1 – ФСМг7, 2 – CompactMag™

Заключение

В ходе проведенного исследования выполнен анализ особенностей эксплуатации деталей стеклоформ и определены факторы, влияющие на их эксплуатационную стойкость, изучена динамика изменения микроструктуры в серых и высокопрочных чугунах в зависимости от интенсивности теплообмена между отливкой и формой.

Проведенные исследования позволили выявить пути управления процессом формирования оптимальной литой структуры с требуемым уровнем механических, теплофизических и эксплуатационных свойств. Получение градиентной структуры стеклоформ с заданным комплексом свойств требует контроля поведения графитовой фазы чугуна в нестационарном температурном поле затвердевания отливки. Важным аспектом при этом является влияние на процесс графитообразования интенсификации теплообмена между отливкой и формой и протекание структурообразования в заданном скоростном режиме затвердевания отливки [18].

Определены основные параметры стабилизации механических и теплофизических свойств чугуна на основе варьирования химическим составом модификатора, массой его навески и способом его ввода.

Разработан технологический процесс, позволяющий получить в производственных условиях отливки из чугуна с регулируемым количеством в структуре шаровидного и вермикулярного графита. Разработанная технология обеспечивает стабильное получение ферритной матрицы чугуна при твердости отливок не выше 170–200 НВ, с пределом прочности $\sigma_B=360...430$ МПа и факторе формы графита на уровне 0,48.

Комплекс разработанных мероприятий по оптимизации структуры чугуна позволил повысить стойкость деталей стеклоформ в среднем на 42% при испытании в лабораторных условиях. Производственные испытания на стеклотарных заводах России подтвердили факт повышения эксплуатационной стойкости на 75...100%: было произведено в среднем 946,5 тыс. стеклоизделий с отдельной чистой стеклоформы, предельное значение составило 1215 тыс. съемов.

Библиографический список

1. **Cesar de Sa, J.M.** Numerical modelling of glass forming processes / J.M. Cesar de Sa // Eng.Comput. 1986. V. 3.
2. **Баландин, Ю.Ф.** Термическая усталость металлов в судовом энергомашиностроении / Ю.Ф. Баландин. – Л.: Судостроение, 1967. – 271 с.
3. **Дульнев, Р.А.** Термическая усталость металлов / Р.А. Дульнев, П.И. Котов. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
4. **Петриченко, А.М.** Термостойкость литейных форм / А.М. Петриченко, А.А. Померанец, В.В. Парфенова. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
5. **Davis, J.R.** Cast irons / J.R. Davis. – ASM International, 1996. – 494 p.
6. **Кушнир, М.А.** Точнолитые пресс-формы для получения изделий из стекла: дисс. ... канд. техн. наук / М.А. Кушнир. – Одесса, 1984. – 232 с.
7. **Ващенко, К.И.** О связи пригарной корки с отливкой // Литейное производство. 1962. №9. С. 24.
8. **Иванова, Л.А.** Методы улучшения качества литой поверхности / Л.А. Иванова, В.А. Иванов // Литейное производство. 1984. №6. С. 24-26.
9. **Shimizu, K.** Formation and progression of erosion surface in spheroidal graphite cast iron / K. Shimizu, T. Noguchi, T. Kamada, H. Takasaki // AFS Transactions. 1996. №1. P. 511-515.
10. **Марукович, Е.И.** Износостойкие сплавы / Е.И. Марукович, М.И. Карпенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 428 с.
11. **Nadot, Y.** Fatigue crack propagation in spheroidal-graphite cast irons with different microstructures / Y. Nadot, N. Ranganathan, J. Mendez, A. S. Beranger // International Journal of Fatigue. 1994. №5. P. 344-350.
12. **Geier, G.F.** Microstructure transition from lamellar to compacted graphite using different modification agents / G. F. Geier, W. Bauer, B. J. McKay, P. Schumacher // Materials Science and Engineering. 2005. №1. P. 339-345.
13. **Гиршович, Н.Г.** Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
14. **Бунин, К.П.** Строение чугуна / К.П. Бунин, Ю.Н. Таран. – М.: Metallurgy, 1972. – 170 с.
15. **Баландин, Г.Ф.** Основы теории формирования отливки: в 2 ч. Ч.1. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки / Г.Ф. Баландин. – М.: Машиностроение, 1976. – 348 с.
16. **Jung, S.** Critical conditions for formation of spheroidal graphite / S. Jung, T. Ishikawa, H. Nakae // Materials Science and Engineering. 2008. №1-2. P. 350-356.
17. **Панов, А.Г.** Совершенствование технологии модифицирования чугунов с шаровидным графитом Mg-Ni-Fe лигатурой / А.Г. Панов, А.Э. Корниенко // Литейщик России. №3. 2009. С. 27-30.
18. **Itoufuji, H.** Comparison of substructure of compacted/vermicular graphite with other types of graphite / Y. Kawano, S. Yamamoto, N. Inoyama, H. Yoshida, B. Chang // Transactions of the American Foundrymen Society Proceedings of the Eighty Seventh Annual Meeting. 1983. №1. P. 313-324.

Дата поступления
в редакцию 20.06.2013

M.V. Aleksandrov¹, D.G. Chistaykov²

FORMATION OF GRADIENT STRUCTURE IN CAST IRON GLASS-MOLDS WITH DIFFERENT MORPHOLOGY OF GRAPHITE

State University – ESPC, Orel¹,
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alekseev²

Purpose: Development and the industrial introduction the improved manufacturing techniques castings of glass-molds, decrease in cost of production of cast details, improvement of quality of production.

Approach: The investigation is carried out by an application of various techniques of control by morphology of graphite in cast iron. The control of structural changes in casting was exercised on the basis of tracking of dynamics of behavior of components cast iron in the field of two phases "liquid-solid".

Findings: The study gives the results of the investigations concerning an effect of the casting solidification rate and method of inoculation of the melt on the morphology of flake and compacted graphite. It has been proved that reducing the solidification rate increases the content and size of graphite and thermal conductivity of cast iron. The possibility to control the tensile strength and thermal conductivity of glass-mold cast iron by changing the intensity of the heat transfer between the casting and the mold is shown.

Key words: cast iron, casting, glass-mold, modifying, solidification rate, compacted graphite.

УДК 621.745.334: 669.13: 662.69

В.Н. Гуцин, В.А. Ульянов, А.А. Кузякина

МЕТОДИКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены особенности физического и математического моделирования многофазных потоков в металлургических агрегатах и приведена методика определения масштабов моделирования при комплексном исследовании динамики расплава, газовых, примесных включений и шлаковых покрытий.

Ключевые слова: физическое моделирование, масштабы моделирования, внешние воздействия, неметаллические включения, кристаллизатор, промежуточный ковш.

Для промышленных металлургических агрегатов и устройств характерна сложная совокупность гидродинамических, тепловых и химических процессов, сопровождающихся эндо- и экзотермическими реакциями, газовой выделением, тепло- и массообменом, диффузией, адсорбцией и т.д. Характер, интенсивность и соотношение этих факторов в конечном итоге и определяют качество протекающих технологических процессов.

Сложность этих процессов создаёт значительные трудности для изучения и выбора методов исследования их закономерностей. Особенно сложности возникают при исследовании многофакторных, многокомпонентных и неоднородных систем, а также при идентификации исходных данных и мониторинга реальной технологической системы с выбранными методами анализа. Одним из подобных примеров является исследование гидродинамики многокомпонентной системы (расплав, твердая фаза, газовые и неметаллические включения и т.д.) при неоднородных условиях на границе подвода расплава и на элементах, изменяющих направление и характер потоков (порогах, перегородках, отражателях и др.). В этих случаях целесообразным представляется изучение в первую очередь основных процессов с использованием методов физического и математического моделирования [1].

В работе [2] доказано, что в условиях подачи жидкого металла из одной емкости в другую под уровень соблюдения идентичности чисел Бюде для модели и оригинале становится не обязательным условием из-за малости по сравнению с другими числами подобия. Это обстоятельство позволяет в первую очередь принимать линейный масштаб моделирования, исходя из конструктивных соображений. С другой стороны, появляется возможность проведения моделирования в широком диапазоне линейных масштабов моделирования от 0,4 до 8,0. Систему уравнений сплошности, передачи импульса и энергии и критериальную зависимость для моделирования этих процессов в этом случае можно записать в следующем виде:

$$W \nabla \theta = \nabla^2 \theta (1/Ne), \quad (1)$$

$$W \nabla W = (1/Ne) \Delta f'' + (Ne/Fr \cdot Re) \theta - (1/Ne) \nabla P_{\kappa} + (1/Re) \nabla^2 W; \quad (2)$$

$$W_{\kappa} = f(Fr, Ne, Re, X, Y). \quad (3)$$

Исходя из этих зависимостей, рассчитываются масштабы моделирования при заданных граничных условиях [1]:

- линейный масштаб (при $X, Y = idem$) $M_x = (X_o)_o / (X_o)_m; \quad (4)$

- масштаб скоростей (при $Re \cdot Fr = idem$) $M_{\omega} = \sqrt[3]{\nu_o / \nu_m}; \quad (5)$

- масштаб расхода (при $Re \cdot Fr \cdot X, Y = idem$) $M_v = M_\omega M_x^2$ (6)

- масштаб времени протекания процессов в модели “м” по отношению к оригиналу “о” (при $Ne = idem$) $M_\tau = \omega_o (X_o)_m / \omega_m (X_o)_o = M_\omega / M_x$ (7)

где $Re = \omega_k X_o / \nu$, $Fr = \omega^2 / g X_o$, $Nu = \alpha_{ж} X_o / \lambda_{ж}$, $Ne = X_o / \omega \tau$ – числа подобия Рейнольдса, Фруда, Нуссельта, Ньютона; X_o , $X = x / X_o$ и $Y = y / Y_o$ – характерный размер и безразмерные координаты; $\alpha_{ж}$ и $\lambda_{ж}$ – коэффициенты теплоотдачи от жидкого металла и теплопроводности; $W_k = \omega_k / \omega_{ж}$, $W_x = \omega_x / \omega_{ж}$ и $W_y = \omega_y / \omega_{ж}$ – безразмерные скорости конвекции и ее проекции на оси x и y ; ω_x и ω_y – скорость невозмущенного потока и текущая скорость; $T = t / t_{фр}$, $T_{ж} = t_{ж} / t_{фр}$ – безразмерные температуры: текущая и жидкого металла в невозмущенном потоке; C_o – безразмерный коэффициент излучения абсолютно черного тела; ε – степень черноты мениска, θ – безразмерная температура среды; ρ – плотность среды; g – ускорение силы тяжести; P_k – давление потока.

Гидродинамика и массообменные процессы в жидкой ванне во многом определяют интенсивность технологических процессов. В сталеплавильном производстве решающая роль этих факторов является общепризнанной. Дело в том, что большинство реальных процессов вообще и металлургических в частности идёт в диффузионной области. А при продувке жидкой ванны резко изменяется гидродинамическая обстановка (степень барботаж, эмульгирования, циркуляции, контакта фаз, обновления межфазных поверхностей и т.д.) в зависимости от параметров ванны, фурм и дутья. Это приводит к тому, что медленные процессы массо- и теплообмена определяются молярной диффузией и конвективным переносом.

Сложность и недостаточная изученность процессов не позволяет оценить сопротивление массопереносу отдельно в газовой и жидкой фазах. В свою очередь соотношение этих сопротивлений может быть различным не только для различных процессов, но в пределах одного цикла (плавки). Поэтому на данном уровне наших знаний представляется наиболее целесообразным при исследовании проводить схематизацию (идеализацию) процесса.

При схематизации принимают, что процессы теплопереноса в технологической зоне (ванне) однозначно определяются процессами массопереноса и что массообмен является лимитирующим звеном или в газовой, или жидкой фазе. Исследования на модели этих крайних случаев позволяют охватить во всем диапазоне возможные реальные процессы по характеру массообмена и, следовательно, получить обобщающие зависимости, справедливые для оценки массообменных процессов в металлургическом объекте при подобных условиях.

Параметр f'' в уравнении (2) носит смысл раздела фаз. В случае изучения поведения твердых и жидких примесных образований в условиях вынужденной конвекции уравнение (2) принимает вид:

$$W \nabla W = Ar \cdot \Delta f'' + (Ne / Fr \cdot Re) \theta - (1 / Ne) \nabla P_k + (1 / Re) \nabla^2 W ; \quad (8)$$

$$W_k = f (Fr, Ne, Re, Ar, X, Y) , \quad (9)$$

где $Ar = g X_o^3 (\rho_v - \rho_{ж}) / \rho_{ж} \nu^2$ – число подобия Архимеда; индексы «в» и «ж» принадлежат соответственно к включению и расплаву; ν – кинематическая вязкость расплава.

На основании идентичности чисел подобия Ar определяют линейный масштаб этих примесных образований:

$$\text{при } \text{Ar} = \text{idem}, M_x^{np} = \sqrt[3]{v_o^2 \rho_{жo} (\rho_B - \rho_ж)_M / v_M^2 \rho_{жM} (\rho_B - \rho_ж)_o} \quad (10)$$

Для случая изучения поведения газовых включений в расплаве уравнения (8) – (10) принимают вид

$$W \nabla W = (\text{Ne}^2 / \text{Bo}^2 \text{Ga}) \Delta f'' + (\text{Ne} / \text{FrRe}) \theta - (1 / \text{Ne}) \nabla P_K + (1 / \text{Re}) \nabla^2 W, \quad (11)$$

$$W_K = f(\text{Fr}, \text{Ne}, \text{Re}, \text{Bo}^2 \text{Ga}, X, Y), \quad (12)$$

где $\text{Bo} = \sigma / \rho_{жo} X_o \omega_K^2$, $\text{Ga} = g X_o^3 / \nu$ - числа подобия Боде и Галилея; σ - коэффициент поверхностного натяжения.

На основании идентичности комплексов чисел подобия $\text{Bo}^2 \text{Ga}$ рассчитывают линейный масштаб газовых включений:

$$\text{при } \text{Bo}^2 \text{Ga} = \text{idem}, M_x^r = X_o^r / X_M^r = \sqrt[3]{(v_o / v_M)^2 / (X_o / X_M)}, \quad (13)$$

где X_o^r, X_M^r - характерные размеры пузырька; v_o, v_M - кинематические вязкости сред оригинала и модели.

Для расчета линейного масштаба на границе шлак-металл используют зависимости вида:

$$W \nabla W = (1 / \text{Bo}') \Delta f'' + (\text{Ne} / \text{Fr} \cdot \text{Re}) \theta - (1 / \text{Ne}) \nabla P_K + (1 / \text{Re}) \nabla^2 W; \quad (14)$$

$$W_K = f(\text{Fr}, \text{Ne}, \text{Re}, \text{Bo}', X, Y). \quad (15)$$

$$\text{Линейный масштаб при } \text{Bo}' = \text{idem}, M_x^m = \sqrt{\sigma_o \rho_M^m / \sigma_o^m \rho_o}, \quad (16)$$

где σ_o, σ_M - коэффициенты поверхностного натяжения на границе раздела фаз оригинала и модели; ρ_o^m, ρ_M^m - плотности шлаковых покрытий оригинала и модели.

Моделирование газожидкостных систем осуществляется в общем случае в соответствии с зависимостью $f(\text{Fo}, \text{Fr}, \text{Eu}, \text{Re}, \text{Bo}, \bar{\rho}, \bar{\nu}, \bar{u}, \text{Ma}, k, X, Y) = 0$, где $\text{Fo} = a \tau / X_o^2$, $\text{Eu} = \Delta p / \rho_{жo} \omega_K^2$ - числа подобия Фурье, Эйлера; a - коэффициент температуропроводности.

Условия подобия гидродинамических и массообменных процессов в газо-жидкостных системах (например, в жидкой ванне при продувке газами) получаются из анализа уравнений неразрывности, Навье - Стокса и Клайперона ($\omega d\omega + a^2 dp / \rho = 0$).

В этом случае исходные для анализа уравнения или размерные величины, характеризующие процессы, должны включать ещё и межфазные параметры.

Из общих соображений следует, что для случаев, например, интенсивного барботажа жидкой ванны, одним из определяющих факторов является расход газа на единицу сечения ванны, т.е. приведённая скорость газа (обозначим её через u , м/с), которую называют также *напряжённостью дутья* или *газовой нагрузкой*. Этот факт подтверждается многочисленными экспериментальными зависимостями, полученными в области химической технологии, где обобщение результатов проводят, как правило, с учётом симплекса приведённых скоростей газа и жидкости. К необходимости использования именно приведённых скоростей приходят также исследователи в области теплоэнергетического оборудования, при моделировании сталеплавильных ванн, барботируемых пузырями окиси углерода, и т.д. Такой подход объясняется в некоторой мере тем, что истинные значения скоростей компонентов двухфазных систем сложно определить вследствие их переменности как в пространстве, так и времени.

Выход из указанного положения заключается в максимально возможном упрощении

этих зависимостей путём оценки значимости отдельных критериев (чисел) подобия. Такой анализ с использованием многочисленных литературных данных позволяет констатировать следующее:

- симплекс плотностей $\bar{\rho}$ в качестве самостоятельного критерия оказывает слабое влияние на гидродинамические процессы в ванне. Более полно гидродинамические, а в некоторых работах и массообменные процессы определяются безразмерным импульсом струи или модифицированным критерием Архимеда в форме следующего комплекса из критериев Fr и $\bar{\rho}$:

$$Ar_M = 1/Ar = Fr/\bar{\rho} = \omega^2 \rho_r / g X_o \rho_{ж}; \quad (17)$$

- вязкость газа не оказывает существенного влияния на гидродинамические и массообменные процессы в ванне, а влияние вязкости жидкости на массообмен весьма невелико. В большинстве реальных случаев в результате больших скоростей струй и размеров жидких ванн гидродинамический режим как по газу, так и по потокам жидкости характеризуется высокой турбулентностью (автомодельная область) и, следовательно, вырождением влияния Re . Необходимо, кроме того, отметить, что критерий Re по жидкости практически неопределим, поскольку неизвестны истинные значения определяющих скоростей потоков жидкости и геометрического параметра;
- на массообменные процессы оказывают влияние скорости истечения газа, т.е. инерционные силы струй (Re и Ar_M). Следует отметить, что струи газа являются первичными факторами в создании гидродинамической обстановки в ванне, и их характеристики определяют характер потоков в жидкости.

В связи с этим в дальнейшем приближённом моделировании, вместо использования группы критериев (Re , Fr , $\bar{\rho}$, \bar{v}), ограничились соблюдением подобия по критериям Ar_M и Re , рассчитанным по газу.

Таким образом, вводя в условия однозначности газовую нагрузку u , с помощью рассмотренных приёмов получаем следующее критериальное равенство, описывающее подобие гидродинамических процессов в газожидкостной системе в общем виде:

$$f(Fr_{ж}, Re_{ж}, Re_r, Bo_{ж}^2 Ga_r, \bar{\rho}, \bar{v}, \bar{u}, Ma, k, X, Y) = 0, \quad (18)$$

где $\bar{\rho} = (\rho_{ж} - \rho_r) / \rho_r$; $\bar{v} = v_{ж} / v_r$; $\bar{u} = u / \omega = Q / F\omega$; индекс «г» обозначает принадлежность газовому включению.

Из-за малых относительно звукового барьера скоростей подачи газа на продувку и относительно незначительного влияния на процесс продувки критерия Маха (Ma), показателя адиабаты k , симплексов \bar{v} и \bar{P} [2] их в критериальной зависимости можно не учитывать. Для расчёта масштабов моделирования для жидкой ванны используем зависимости $(Fr_{ж}, Re_{ж}, X, Y)$ с учётом равенства отношений начальных количеств движения (импульсов)

потоков на оригинале и модели: $\bar{I} = \bar{m}\bar{\omega} = (\bar{\rho}\bar{Q}^2 / \bar{F}) = \bar{\rho}\bar{\omega}^2 \bar{F} = idem$. Расчёт линейного

масштаба газовых пузырьков M_x^r осуществляется из комплекса Бодэ - Галилея $Bo_{ж}^2 Ga_r$, входящего в выражение (18).

Из условия $Reg = idem$ определяют масштаб скоростей ввода газового потока $M_\omega^r = (\omega_o / \omega_m)^r = v_o^r X_m^r / v_m^r X_o^r$, а из условия $\bar{u} = u / \omega = Q / F\omega = idem$ – масштаб расхода

продувочного газа $M_Q^r = X_o^{r2} \omega_o^r / X_m^{r2} \omega_m^r$.

На основе разработанной методики было проведено моделирование процесса непрерывной разливки из 50 т промежуточного ковша с применением различных технических решений с промышленной проверкой полученных результатов. Моделирование

проводилось на воде с имитацией включений молотым древесным углём и ряда других добавок. Технология моделирования и определения уровня очистки модельной жидкости подробно описаны в работе [1].

На рис. 1 приведены сравнительные данные по влиянию на индекс загрязнённости разливаемой стали при применении различных технологических решений [1, 3-5]: обычная конструкция промежуточного ковша; с продувкой инертным газом через щелевые вставки между сливными отверстиями; с разделением промковша на приёмный и разливочные отсеки полнопрофильными перегородками с перепускными отверстиями; с продувкой и использованием полнопрофильных перегородок.

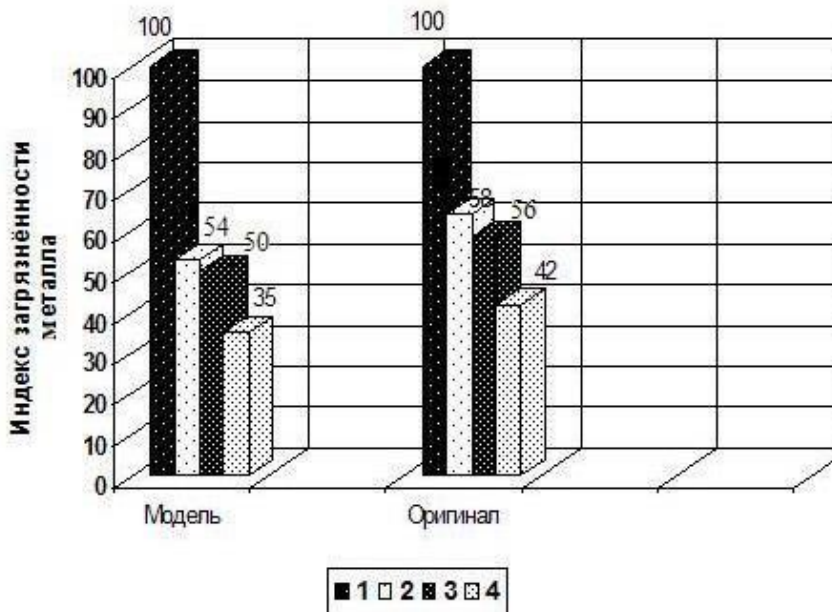


Рис. 1. Сравнительные данные по влиянию на индекс загрязнённости разливаемой среды при применении различных технологических решений:

1 - обычная конструкция промковша; 2 - с продувкой через щелевые вставки между сливными отверстиями; 3 - с разделением промковша на приёмный и разливочные отсеки полнопрофильными перегородками с перепускными отверстиями; 4 - с продувкой и полнопрофильными перегородками

Испытание применения разделяющих промковш на отсеки перегородок со специальной конструкцией перепускных отверстий при вводе аргона между ними и перепускными отверстиями показали [3-5], что чистоту стали можно значительно повысить на сливе в кристаллизатор по сравнению с исходным составом. Сопоставление теоретических и наблюдаемых в промышленных условиях значений индекса загрязнённости стали показывает, что в реальных условиях на количественное содержание примесных включений в литом металле большое значение играет вязкость и основность шлакового покрова [4]. Индекс загрязнённости на модели определялся по количеству включений, поступающих на слив из промковша в единицу времени. Для определения уровня индекса чистоты стали типа 17Г1СУ,09Г2С,10ХСНД [3] отбирались шлифы и подсчитывались все виды включений от 10 мкм и выше, приходящихся на единицу поверхности. В качестве верхнего уровня индекса загрязнённости стали на рис. 1 приняты шлифы, имеющие на единицу площади среднее количество всех видов включений 14 шт./см².

В ходе проведённых исследований установлено, что ввод аргона через верх защитной трубы в количестве 1,0–1,5 м³/ч способствует снижению в большей степени мелких включений (менее 500 мкм), а технические решения, связанные с конструкциями перегородок – более крупных. Максимальный эффект был получен при комплексном использовании продувки и полнопрофильных перегородок рациональных параметров.

Таким образом, разработанные методы физического моделирования совместно с математическими моделями позволяют решать задачи динамики многокомпонентных технических систем с учётом неоднородности исследуемых сред и разрывных граничных условий на выходе расплава из каналов сложной формы, переходе потока в вихревые течения, обтекании, отражении, встречном течении при реализации технических решений в проковшах, кристаллизаторах и др.

Библиографический список

1. **Гущин, В.Н.** Методы исследования и разработка градиентных промышленных технологий управления тепломассообменными процессами при разливке и формировании непрерывнолитых и стационарных заготовок: учеб. пособие / В.Н. Гущин, В.А. Ульянов; НГТУ. – Н. Новгород, 2006. – 141 с.
2. **Скворцов, А.А.** Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов. – М.: Metallurgia, 1991. – 216 с.
3. Оптимизация гидродинамических характеристик промежуточного ковша УНРС с целью удаления экзогенных неметаллических включений / А.В. Куклев, В.В. Тиняков, В.Н. Гущин [и др.] // *Металлург.* 2004. №4. С. 47–50.
4. Эффективность рафинирования стали в промежуточном ковше с перегородками/ А.В. Куклев, В.В. Тиняков, В.Н. Гущин [и др.] // *Металлург.* 2004. №8. С. 43–45.
5. Разработка технологии рафинирования стали от крупных неметаллических включений в промежуточных ковшах/ А.В. Куклев, В.В. Тиняков, В.Н. Гущин [и др.] // *Опыт поузловой модернизации МНЛЗ с внедрением современных технологических решений в области непрерывной разливки стали.* – Орск, 2003. С. 9–13.

*Дата поступления
в редакцию 20.06.2013*

V.N. Gushchin, V. A. Ulyanov, A.A. Cuzyakina

METHODS PHYSICAL MODELING OF MULTIPHASE FLOW

Nizhne Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: research-and-development of features of physical and mathematical design of multiphase streams in metallurgical aggregates methodology of scaling of design at complex research of dynamics of fusion, gas, admixture including and slag coverages.

Design/methodology/approach: the methods of physical and mathematical design of much-phase streams were used in metallurgical aggregates.

Findings: on the basis of the worked out methodology the design of process of continuous teem was conducted from an intermediate scoop with the use of different technology decisions with industrial verification of the got results. An estimation is conducted on influence on the index of muddiness became different structural and technology decisions for an intermediate scoop for a continuous teem became.

Research limitations/implicftions: the set criterion dependences allow to set intercommunication between hydrodynamics of teem, and also behavior non-metal and gas inclusions in a molten metal.

Originality/value: the worked out methodology of physical design of multiphase streams of allows to decide the tasks of dynamics of the technical systems taking into account heterogeneity of environments and determine the rational modes of teem in scoops and other metllurgical objects.

Key words: physical modeling, scale modeling, external influences, nonmetallic inclusions, mold, a tundish.

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК [661.7:547.391.3'435.03/.05]:542.951.3

Н.К. Кобякова, И.Ю. Макарова, А.А. Протасов, Г.Н. Червякова

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ *n*-ХЛОРФЕНИЛМЕТАКРИЛАТА МЕТОДОМ ЭТЕРИФИКАЦИИ

НИИ полимеров им. акад. В.А. Каргина, г. Дзержинск

Для получения *n*-хлорфенилметакрилата использован метод этерификации метакриловой кислоты *n*-хлорфенолом в присутствии смеси борной и серной кислот. Предложен механизм каталитического действия системы $H_2SO_4-H_3BO_3$, основанный на промежуточном образовании три-*n*-хлорфенилбората. Методом ИК-спектроскопии доказано наличие указанного соединения в реакционной массе. Отмечено, что возможным следствием присутствия следов бората в продукте реакции этерификации является его повышенная полимеризационная активность.

Ключевые слова: *n*-хлорфенилметакрилат, этерификация, катализатор, серная кислота, борная кислота, бораты.

Модификация полиметилметакрилата *n*-хлорфенилметакрилатом (ХФМА) позволяет получать органические стекла с повышенной теплостойкостью и низкой гигроскопичностью [1, 2], находящие применение в авиа- и автомобилестроении [3, 4]. Однако в литературе описаны, главным образом, методы синтеза ХФМА, основанные на взаимодействии *n*-хлорфенола (ХФ) с хлорангидридом метакриловой кислоты (ХМК) [2, 5, 6]. Проведение процесса ацилирования ХФ в присутствии водного раствора щелочи (метод Шоттена-Баумана) ведет к частичному гидролизу ХМК и образованию побочных продуктов, ухудшающих свойства органического стекла. Для предупреждения образования примесей необходим комплекс мер, позволяющих уменьшить гидролиз ХМК [2]. Другим недостатком метода синтеза ХФМА, основанном на использовании ХМК, является его многостадийность, обусловленная необходимостью предварительного синтеза и очистки метакрилоилхлорида. Кроме того, ХМК является сильным лакриматором и вызывает существенную коррозию аппаратуры. Очевидно, что для устранения перечисленных недостатков необходимо отказаться от использования в синтезе гидролитически нестабильного ХМК. Поэтому задачей настоящего исследования является способ получения ХФМА, основанный на этерификации метакриловой кислоты (МАК) *n*-хлорфенолом, рассмотрение вероятного механизма действия катализаторов, а также объяснение влияния катализаторов на свойства полученного продукта.

ИК спектры снимали на спектрофотометре Specord M-82 в области $4000-400\text{ см}^{-1}$ в тонкой пленке. Хроматографический анализ выполняли на газовом хроматографе Chrom-5 с пламенно-ионизационным детектором и стеклянной колонкой длиной 2,5 м и внутренним диаметром 3 мм; неподвижная фаза – хромосорб WAW (0,16-0,20 мм) с 8% полиэтиленгликольдиэтиленгликолядипината и 2% H_3PO_4 ; температура колонок – 170°C , испарителя – 220°C , скорость водорода и азота $30\text{ мл}\cdot\text{мин}^{-1}$. Расчет содержания определяемых компонентов осуществляли методом внутреннего стандарта, в качестве которого применяли диметиловый эфир янтарной кислоты.

Метакриловая кислота (ТУ 6-02-917-79 с изм. 1), *n*-хлорфенол (ТУ 6-09-4935-80), ор-

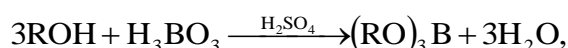
ганические растворители и другие реактивы соответствовали нормативно-технической документации и дополнительно не очищались.

Этерификацию МАК *n*-хлорфенолом осуществляли в присутствии катализатора смеси серной и борной кислот, мольное соотношение МАК: ХФ: H_3BO_3 : H_2SO_4 = 1.5: 1.0: 0.050: 0.025. Для облегчения удаления воды из сферы реакции процесс проводили в среде толуола или ксилола, собирая образующийся азеотроп в ловушку Дина-Старка. Благодаря этому реакция проходила при температурах 120 и 140°C соответственно в течение 5-9 ч. В качестве ингибиторов процесса полимеризации использовали гидрохинон и однохлористую медь. Выход сырца мономера составил 70-80% от теоретического. Сырец промывали водой и 5-10%-ным раствором щелочи. Для предупреждения полимеризации мономера его ингибировали 0,2% CuCl и отгоняли растворитель при пониженном давлении 40-50 мм рт. ст. Дистилляцию мономера осуществляли при 1-2 мм рт.ст. ($T_{\text{кип}} = 103-105^\circ\text{C}/1-2$ мм рт. ст.). Содержание основного вещества в мономере, по данным газохроматографического анализа, составило 99,8%.

Результаты и обсуждения

Ранее считалось, что вследствие низкой нуклеофильности фенолов (особенно фенолов, содержащих электроноакцепторные заместители) получение их сложных эфиров методом этерификации и переэтерификации невозможно [7,8]. Позднее появились сообщения об осуществлении этерификации карбоновых кислот фенолами [9-11], хотя обычно этот метод использовали для получения насыщенных соединений, так как синтез проводили при температуре 200-300°C. Оказалось, однако, что процесс этерификации может быть осуществлен и в более мягких условиях, пригодных для получения полимеризационноактивных мономеров, при использовании в качестве катализатора смеси серной и борной кислот [12]. В частности, при использовании таких катализаторов в среде толуола или ксилола при температуре 120-140°C может быть получен ХФМА с выходом около 80%. В своих исследованиях мы показали, что реакция этерификации МАК *n*-хлорфенолом не проходит при катализе только борной или только серной кислотами, при катализе смесью борной и толуолсульфоокислоты, при катализе борным ангидридом или его смесью с серной кислотой, хотя на 20% эта реакция протекает в присутствии эфирата BF_3 .

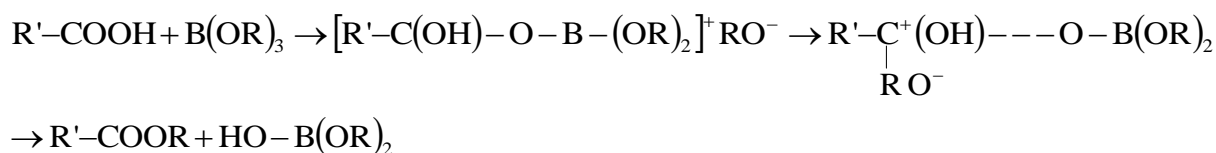
Каталитическое действие системы H_3BO_3 : H_2SO_4 предположительно можно объяснить образованием в процессе удаления воды трихлорфенилбората из борной кислоты и ХФ. Известно [13], что борная кислота в присутствии минеральной кислоты легко образует со спиртами и фенолами соответствующие алкил- и арилбораты:



где R= Alk-, Ar-.

Весьма вероятно, что процесс этерификации в присутствии борной кислоты проходит через промежуточную стадию образования фенилбората. Атом бора в фенилборате является чрезвычайно электрофильным, так как способен принимать электроны для заполнения вакантных орбиталей до октета. Поэтому фенилбораты легко образуют промежуточные комплексы с соединениями, имеющими свободную электронную пару. Образование таких комплексов с аммиаком и аминами было зафиксировано для фенилбората [14].

Схему реакции этерификации, проходящей через образование подобного комплекса, можно представить следующим образом:



Повышенная стабильность таких комплексов у арилборатов, в отличие от алкилборатов, обусловлена тем, что в них смещение электронной плотности от кислорода к бору компенсируется эффектом сопряжения между свободной электронной парой кислорода и системой π -электронов ароматического кольца [13]. Причем введение в ароматическое кольцо арилборатов электроноакцепторных заместителей должно в еще большей степени способствовать стабилизации комплексов с соединениями, имеющими свободную электронную пару. Это предположение хорошо согласуется с фактом, описанным в [12], где показано, что выход эфира при этерификации МАК фенолом в присутствии смеси H_3BO_3 и H_2SO_4 в ксилоле меньше, чем при этерификации МАК *n*-хлорфенолом (73 и 83% соответственно).

Однако стерические эффекты при введении заместителей в *o*-положение фенильного кольца мешают образованию указанных комплексов [15]. Действительно, мы установили, что этерификация 2,4-дихлорфенола, 2,4,6-трихлорфенола и пентахлорфенола в указанных условиях не происходит.

Из литературных данных известно, что для боратов характерна область поглощения около 1350 см^{-1} [16]. На рис. 1 представлен ИК-спектр реакционной массы, отобранной в процессе этерификации. Доказательством образования три-*n*-хлорфенилбората при синтезе ХФМА методом этерификации в присутствии смеси H_3BO_3 и H_2SO_4 может служить обнаружение в ИК-спектре реакционной массы полосы поглощения при 1356 см^{-1} .

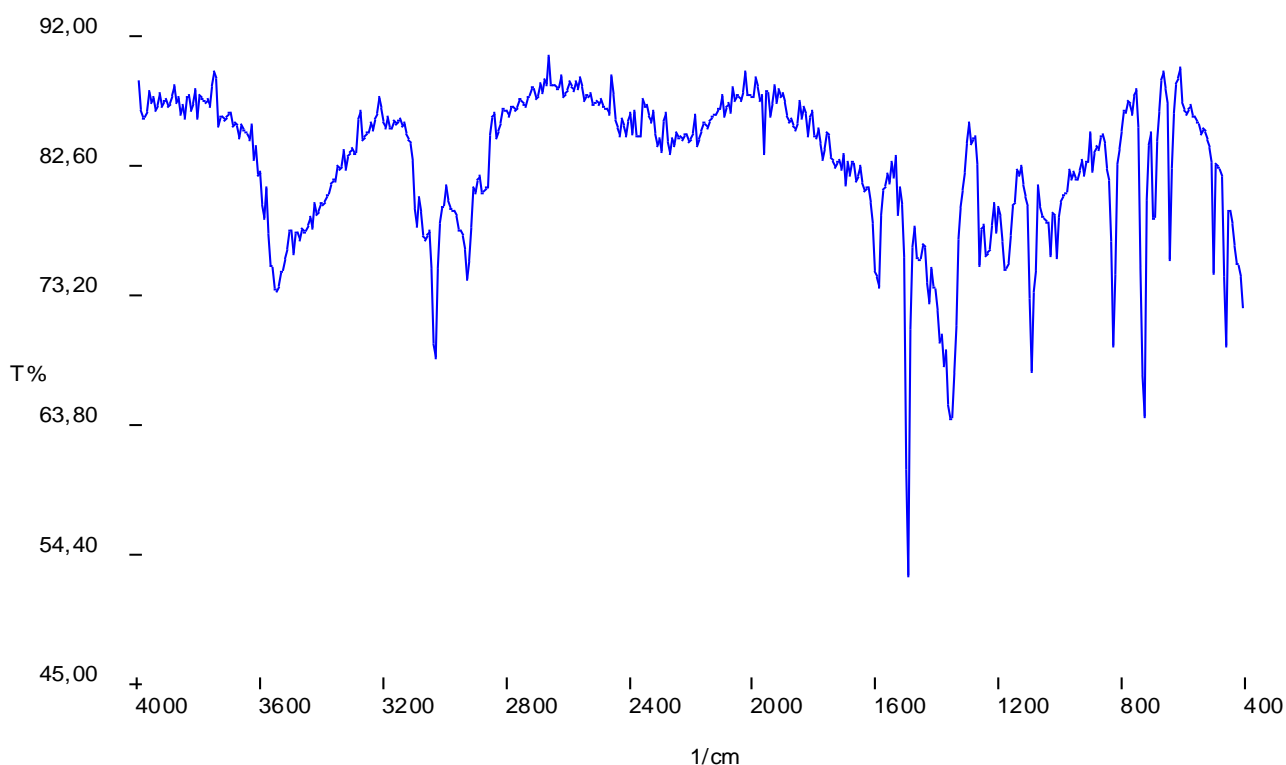
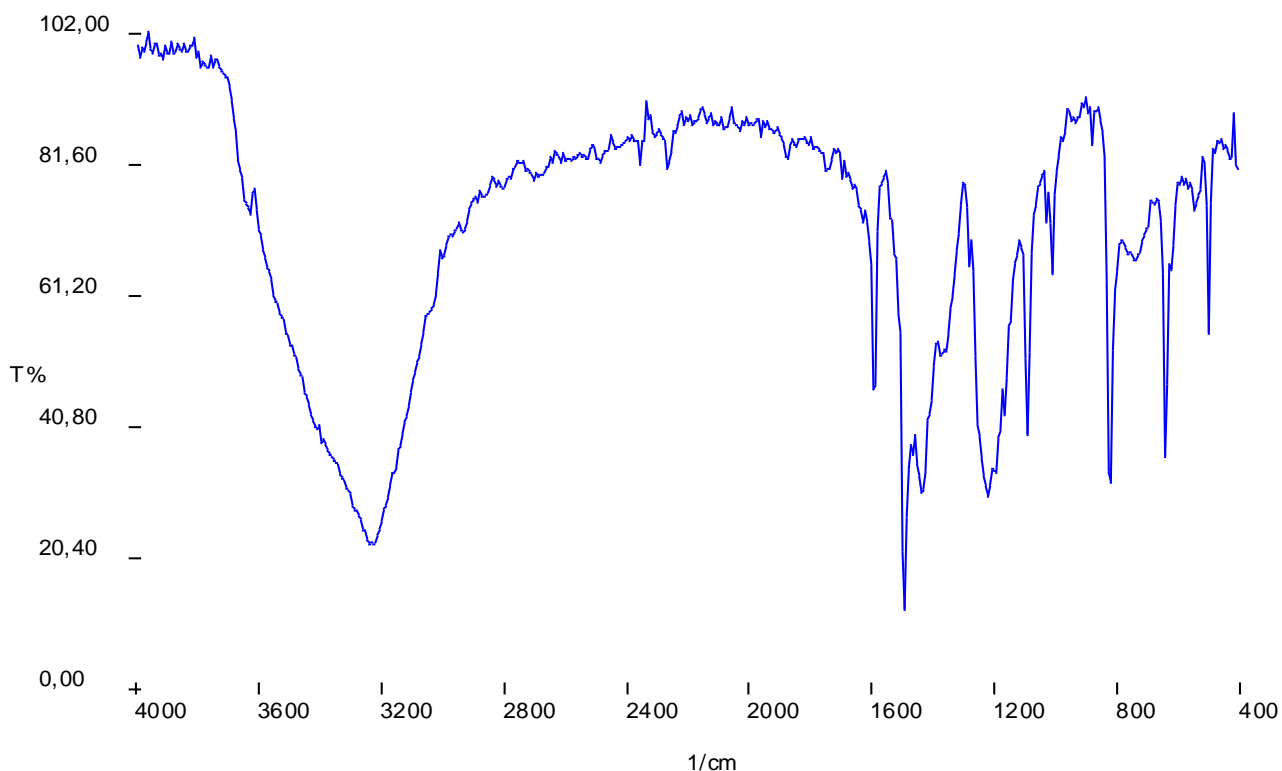


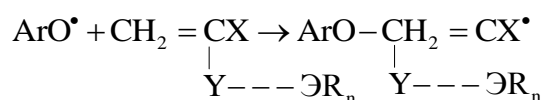
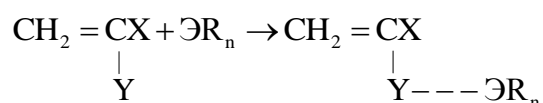
Рис. 1. ИК-спектр реакционной массы

Три-*n*-хлорфенилборат, полученный нами встречным синтезом по классической методике [17] из ХФ и борной кислоты ($T_{\text{пл}}=55^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{кип}}=258-260^{\circ}\text{C}/5\text{ мм рт. ст.}$), также имеет характеристическую полосу поглощения в этой области (рис. 2).

Интересно отметить, что ХФМА, полученный методом этерификации, обладает повышенной полимеризационной активностью; его перегонка в присутствии CuCl сопровождается неконтролируемой полимеризацией в кубе и парах системы дистилляции, чего никогда не происходит при перегонке мономера, полученного исходя из ХМК. Применение ингибиторов фенольного типа не предотвращает полимеризацию.

Рис. 2. ИК-спектр три-*n*-хлорфенилбората

Такое увеличение полимеризационной активности мономера связано, вероятно, с присутствием в нем следов $(\text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O})_3\text{B}$. В настоящее время на основе борорганических соединений разработаны многочисленные иницирующие системы для полимеризации виниловых мономеров [18]. Показано, в частности, что такие соединения, как *n*- Bu_3B и, особенно, *n*- Bu_2BOBu в количествах, сопоставимых с количеством инициаторов, значительно увеличивают скорость полимеризации метилметакрилата (ММА). При этом внесение в мономер ингибиторов фенольного типа не только не снижает скорость полимеризации, а способствует ее увеличению. Такой эффект авторы [19] связывают с тем, что элементоорганическое соединение (ЭОС), образуя с мономером комплекс, активирует последний. В результате становится возможным иницирование полимеризации феноксильными радикалами:



где $\text{CH}_2=\text{CX}-\text{Y}$ – мономер; ЭR_4 – элементоорганическое соединение; ArO^\bullet – феноксильный радикал.

Протекание такой реакции подтверждается тем фактом, что в составе полиметилметакрилата, полученного в присутствии ЭОС и фенолов, методами УФ- и ИК-спектроскопии [20, 21] обнаружены феноксильные группы. Этот процесс стерически затруднен для таких разветвленных фенолов, как ионол, что отражается в снижении скорости полимеризации ММА, ингибированного ионолом в присутствии ЭОС. Поэтому в дальнейшем при перегонке ХФМА мы вводили в ингибирующую композицию ионол. Эффект неконтролируемой полимеризации в процессе перегонки таким образом был снижен.

Однако влияние борорганических соединений, присутствующих в полученном методом этерификации ХФМА, играет не только отрицательную, но и положительную роль. ХФМА применяется в виде модифицирующей добавки для улучшения свойств сополимера ММА-МАК. При этом введение в состав сополимера ХФМА, синтезированного из ХМК, нередко приводило к получению мутного стекла даже при условии предварительной тщательной очистки мономера. Это, возможно, связано с различной активностью сомономеров. Использование ХФМА, полученного методом этерификации, не приводит к ухудшению оптических свойств сополимера. Вероятно, следы хлорфенилбората в мономере выполняют роль регуляторов состава сополимера, что вполне согласуется с имеющимися литературными данными [22, 23].

Выводы

1. Осуществлен одностадийный синтез *n*-хлорфенилметакрилата путем этерификации метакриловой кислоты *n*-хлорфенолом в присутствии смеси борной и серной кислот.
2. Методом ИК-спектроскопии и встречным синтезом доказано образование в процессе этерификации промежуточного продукта – три-*n*-хлорфенилбората.
3. Выдвинуто предположение о вероятном механизме каталитического действия три-*n*-хлорфенилбората в реакции этерификации.
4. Отмечено повышение полимеризационной активности *n*-хлорфенилметакрилата, полученного методом этерификации, что объясняется наличием примеси три-*n*-хлорфенилбората в мономере.

Библиографический список

1. Синтез мономеров-модификаторов для создания полимерных материалов с комплексом новых полезных свойств / М.В.Кузина [и др.] // Полимерные композиционные материалы и покрытия: материалы II Междунар. научн.-техн. конф. – Ярославль. 2005. С. 40–42.
2. **Кобякова, Н.К.** Разработка условий синтеза *n*-хлорфенилметакрилата с заданной степенью чистоты / Н.К. Кобякова, Е.П. Бешенова, Л.Н. Белодед // ЖПХ. 2009. Т. 82. № 1. С. 124–128.
3. **Пат. 2277105** РФ, МПК C08F 220/18, C08F 220/06. Горелов, Ю.П. Состав для получения органического стекла / Ю.П. Горелов [и др.]; патентообладатель ФГУП «НИИ полимеров, ФГУП «ВИАМ»; 2005100519/04; заяв. 13.01.2005; опубл. 27.05.2006. Бюл. №15.
5. **Сыромятников, В.Г.** Арил(мет)акрилаты и полимеры на их основе / В.Г. Сыромятников, Л.П. Паскаль, И.А. Савченко // Успехи химии. 1999. Т. 68. № 9. С. 861–880.
6. Preparation and Polymerization of Some New Aryl Methacrylates / G. Sumrell [et al.] // J. Am. Chem. Soc. 1959. V.81. N 16. P. 4310–4313.
7. **Арбузова, Е.А.** О синтезе хлорфениловых эфиров метакриловой кислоты / Е.А. Арбузова, Л.И. Медведева, С.А. Плоткина // ЖОХ. 1956. Т. 26. № 4. С. 1127–1130.
8. **Patai, S.** Preparation and Polymerization of Aryl Methacrylates and N-Arylmethacrylamides / S. Patai, M. Bentov, M.E. Reichman // I. Am. Chem. Soc. 1952. V. 74. N 3. P. 845–847.
9. Общий практикум по органической химии / под ред. А.Н. Коста. – М.: Мир, 1965. – 387 с.
10. **Пат. США 6.342.627.B1-2002-01-29** Oda Y. Producing unsaturated esters by a lanthanide metal alkoxide catalyzed transesterification process / Y. Oda, M. Yaro, K. Iwakura; Sumitomo Chemical CO.
11. **Пат. США 2003139599(A1)-2003-07-24** Nestler G. Method for the production of esters of unsaturated carboxylic acids / G. Nestler, J. Schroder; BASF AKTIENGESELLCHAFT.
12. Заявка WO 2007057120(A1)-2007-05-24 Dunn J.C. Manufacture of esters / J.C. Dunn [et al.]; CIBA SC Holding AG[CH].
13. **Евр. Пат. 0165529 A1-1985-12-27** Hatekeyama H. Process for producing phenyl methacrylate or acrylate / H. Hatekeyama, H. Takeda; MITSUBISHI RAYON CO.
14. **Джерард, В.** Химия органических соединений бора: [пер. с англ.] / В. Джерард. – М.: Химия, 1966. – 317 с.
15. **Colclough, T.** Preparation, Stability and Complex Formation of Aryloxyboron Compounds / T. Colclough, T. Gerrard, M.F. Lappert // J. Chem. Soc. 1956. N 8. P. 3006.
16. **Abel, E.W.,** Gerrard T., Lappert M.F. // Chem. And Ind. 1958. P. 158.

17. Infrared Spectra of Boron Compounds / L.J. Bellamy [et al.] // J. Chem. Soc. 1958. N 6. P. 2412.
18. **Несмеянов, А.Н.** Методы элементоорганической химии (Бор, алюминий, индий, галлий) / А.Н. Несмеянов. – М.: Химия, 1964. – 499 с.
19. **Гришин, Д.Ф.** Координационно-радикальная (со)полимеризация виниловых мономеров в присутствии органических соединений элементов III-V групп // Успехи химии. 1993. Т. 62. № 10. С. 1007–1119.
20. **Гришин, Д.Ф.** Влияние элементоорганических соединений групп III-IV на сополимеризацию метилметакрилата с метакриловой кислотой и стиролом / Д.Ф. Гришин, О.Ю. Чиняева // Высокомолекуляр. соединения. 1993. Т. 35. №3. С. 156–158.
21. **Додонов, В.А.** Полимеризация метилметакрилата в присутствии низкотемпературных иницирующих систем и гидрохинона / В.А. Додонов, И.Н. Аксенова, С.Н. Забурдяева // Высокомолекуляр. соединения. 1992. Т. 33Б. № 8. С. 34–39.
22. **Гришин, Д.Ф.** Ускоряющее действие органических соединений металла III группы и некоторых ингибиторов фенольного типа на гомо - и сополимеризацию акриловых мономеров / Д.Ф. Гришин, С.А. Вашурина // Высокомолекуляр. соединения. 1993. Т. 33Б. №. 8. С. 1236.
23. **Гришин, Д.Ф.** Влияние органических соединений элементов III группы на радикальную полимеризацию виниловых мономеров / Д.Ф. Гришин, А.А. Мойкин // Высокомолекуляр. соединения. 1996. Т. 38. № 11. С. 1909–1912.
24. **Гришин, Д.Ф.** Иницирующие системы на основе хинонов и элементоорганических соединений для полимеризации виниловых мономеров / Д.Ф. Гришин, А.А. Мойкин, В.К. Черкасов // Высокомолекуляр. соединения. 1999. Т. 41А. № 4. С. 595–599.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

N.K. Kobyakova, I.Y. Makarova, A.A. Protasov, G.N. Chervyakova

FEATURES OF PREPARATION OF *p*-CHLOROPHENYL METHACRYLATE BY ESTERIFICATION METHOD

V.A. Kargin Polymer Research Institute, Dzerzhinsk

Purpose: The present work studies the method for production of *p*-chlorophenyl methacrylate by the esterification method of methacrylic acid by *p*-chlorophenol and probable mechanism of catalysts of this process.

Design (methodology) approach: The literature review illustrates the necessity of usage of H₂SO₄-H₃BO₃ system as a catalyst to accomplish esterification of methacrylic acid by phenols. Infrared spectroscopy data suggest a probable mechanism of catalysis.

Findings: The present study shows that tri-*p*-chlorophenylborate which is likely an intermediate product of *p*-chlorophenyl methacrylate synthesis occurs in the reaction mass of esterification process. It influences on polymerizing properties of monomer.

Scope of application: The benefit of this study is the development of one-stage method of *p*-chlorophenyl methacrylate synthesis used as a modifying additive in the production of organic glass.

Conclusions: Therefore, an effective method of *p*-chlorophenyl methacrylate synthesis is produced. The study shows that an intermediate formation of tri-*p*-chlorophenylborate is the basis for catalysis of esterification process.

Key words: *p*-chlorophenyl methacrylate, esterification, catalyst, sulfuric acid, boric acid, borates.

ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 330.3:338:519.86

Ю.А. Кузнецов, С.Е. Маркова

АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО РЫНКА ИКТ. СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского –
Национальный исследовательский университет

Цель: анализ динамики и общая характеристика качественных особенностей развития российского рынка информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), играющего важную роль в экономике Российской Федерации.

Методология: методология структурного подхода, в основе которого лежит системная парадигма «структура – поведение – результат» («Structure – Conduct – Performance»).

Результаты и область их применения: в данной статье на основе статистических данных о российском рынке ИКТ с применением методологии структурного подхода и концепции «турбулентности рынка» проанализированы динамика и качественные особенности развития российского рынка ИКТ. Результатом исследования являются, в частности, оценка степени монополизации рынка ИКТ и характеристика тенденций развития рынка ИКТ на ближайшую перспективу.

Выводы: в настоящее время российский рынок ИКТ является достаточно динамично развивающимся: в ближайшие 3-5 лет следует ожидать его дальнейший активный рост. Телекоммуникационный сектор российского рынка ИКТ является устойчивым лидером отрасли (по доходам его вклад составляет в разные годы от 73% до 89%). Мировая статистика может служить достаточно надежным ориентиром для прогноза показателей отечественного телекоммуникационного рынка. «В целом» российский рынок ИКТ является умеренно концентрированным рынком, имеющим тенденцию к олигополии.

Ключевые слова: экономический рост, социально-экономическое развитие, информационные и коммуникационные технологии, структура рынка ИКТ, инновации.

Важнейшими целями проводимых в Российской Федерации экономических реформ являются модернизация и повышение эффективности её экономики, ориентация на инновационный путь развития и достижение на этой основе высокого уровня благосостояния населения; ставится задача принципиального изменения экономической модели развития Российской Федерации и перехода страны от экспортно-сырьевой к инновационной экономике, основанной на знаниях. При этом интенсивное развитие телекоммуникационной отрасли рассматривается как одно из важнейших условий устойчивого экономического развития страны и её успешной интеграции в мировую экономику [4].

В 2008 году в РФ была принята «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации», где были зафиксированы цели формирования и развития информационного общества в РФ [12]. Для успешной реализации Стратегии в 2010 году была принята государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011 – 2020 годы)» [6], фактически представляющая собой план мероприятий по развитию электронных сервисов в различных сферах жизнедеятельности. Успешная реализация перечисленных инициатив на уровне государства возможна при адекватной поддержке их субъектами Федерации. Развитие ИКТ – отрасли в Приволжском федеральном округе (ПФО) определяет, в частности, «Стратегия социально-экономического развития Приволжского федерального округа на период до 2020 года» [11]. В документе указывается, что развитие современ-

ной информационной и телекоммуникационной инфраструктур в Приволжском федеральном округе является одной из фундаментальных основ развития территории.

Главными задачами по развитию информационной и телекоммуникационной инфраструктур являются развитие магистральной сети связи, сети широкополосного доступа, в том числе беспроводного, к сети Интернет для конечных пользователей, строительство цифровых наземных сетей трансляции общероссийских обязательных общедоступных телеканалов и радиоканалов, развитие инфраструктуры, обеспечивающей информационную безопасность электронных форм взаимодействия органов государственной власти между собой, с населением и организациями, а также научно-методическое обеспечение процесса становления информационного общества в Российской Федерации.

Таким образом, развитие телекоммуникационной отрасли практически выступает в качестве одного из определяющих факторов устойчивого экономического развития России и роста её конкурентоспособности на глобальном рынке, а поэтому является одной из приоритетных задач Российской Федерации. В связи с этим значительный интерес представляют как анализ динамики инновационного технологического развития экономики России, так и изучение путей повышения эффективности телекоммуникационной отрасли.

В настоящей работе представлены анализ динамики и общая характеристика качественных особенностей динамики развития российского рынка информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), играющего важную роль в экономике Российской Федерации. В качестве базы для исследования были использованы данные об экономических показателях за 2009–2011 гг. крупнейших российских ИКТ компаний [13], а также данные [14, 16, 17, 19, 22]. Анализ всей этой информации позволил дать общую характеристику российскому рынку ИКТ, а также описать ряд специфических особенностей его динамики.

1. Опишем очень кратко некоторые используемые в дальнейшем понятия и факты теории отраслевых рынков¹, а также некоторые элементы методологии исследования качественных особенностей отраслевых рынков, сформировавшейся в рамках этой теории (подробнее см., например, работы [3, 8, 10, 20, 23] и др.).

Считается, что некоторые основополагающие моменты данной теории обнаруживаются уже в трудах А. Смита и А. Маршалла. Однако, по мнению большинства специалистов, оформление этого раздела экономической науки произошло только в 30-х годах XX столетия. Именно в этот период были опубликованы работы Э. Чемберлена (*Edward Chamberlin*) и Э. Мэйсона (*Edward Mason*), и в Гарвардском университете возникла известная Гарвардская школа (*Harvard School*), в рамках которой был сформулирован *структурный подход* к анализу отраслевых рынков – знаменитая структурная (системная) парадигма «структура – поведение – результат» («*Structure – Conduct – Performance*», «*SCP – paradigm*»). Дальнейшее развитие этой парадигмы в 50-х годах XX столетия связано с работами Дж. Бэйна (*Joe Bain*) (концепция барьеров входа-выхода). В рамках *структурного подхода* исследование организации отраслевых рынков предполагает, прежде всего, получение оценок рыночной концентрации производителей и продавцов, глубины дифференциации продуктов, исследование величины барьеров входа на отраслевой рынок для новых фирм (препятствующих эффективной мобильности капиталов), степени вертикальной интеграции и ряд других характеристик рынка. Каждая из таких характеристик рынка по-своему влияет на параметры его функционирования и на его динамику, и различные сочетания упомянутых характеристик рынка описывают широкий спектр возможных *рыночных структур*. В теории организации отраслевых рынков обычно выделяют три большие категории рынков: рынок совершенной конкуренции, его противоположность – монополистический рынок, и рынок несовершенной (монополистической) конкуренции (подробнее см. [8, 20, 23]). В дальнейшем в рамках структурного подхода были выработаны достаточно эффективные практические критерии определения типа конкуренции, а сама теория отраслевых рынков постепенно становится базой антимонопольной политики США и Европы.

¹ Этот раздел экономической теории в США обычно именуется «Industrial Organization», а в европейских странах – «Industrial Economics».

Другое направление исследований – *микроэкономический (неструктурный) подход* к анализу организации отраслевых рынков сложилось в 60-х – 70-х годах XX столетия в рамках Чикагской экономической школы (*Chicago School*). Это направление обычно связывают с именем Дж. Стиглера (*George Stigler*). Представители Чикагской школы выступили с серьезной критикой структурной парадигмы. В основе этой критики лежала одна из высказанных ранее Э. Чемберленом идей о *динамическом* характере конкуренции, в то время как в рамках структурного подхода применяется, по существу, статический подход. В качестве альтернативы «структуралистскому подходу» появилась теория квазиконкурентных (соревновательных) рынков (*Baumol W., Panzar J., Willig R.*).

Дальнейшее развитие этой линии исследований привело к оформлению нового направления – так называемой «новой эмпирической индустриальной организации» или «новой эмпирической теории отраслевых рынков» (*New Empirical Industrial Organization, NEIO*). Преимущество такого подхода – прямой анализ поведения фирм. Значительный вклад в развитие данного «неструктурного» подхода был сделан Дж. Панзаром и Дж. Россом (*PR method, PR-statistic, Panzar – Rosse H-statistic*), Т. Бреснаханом, С. Шеффером и многими другими исследователями.

В рамках структурной парадигмы одной из важнейших характеристик структуры рынка служит *рыночная концентрация* продавцов (производителей) товара. Обычно для оценки уровня рыночной концентрации используется два основных типа данных: численность продавцов на рынке (производителей в отрасли) и распределение рыночных долей фирм, реализующих товар на данном рынке. На основе этой информации может быть построена кривая концентрации; она же в большинстве случаев служит основой для формирования некоторых специфических показателей или *индексов концентрации* (см. [8, 15, 20] и др.). Именно они в большинстве случаев и используются для оценки уровня рыночной концентрации и степени монополизации рынка. Опишем кратко те из них, которые используются в дальнейших построениях (подробнее см., например, [8, гл. 7; 10, С. 120– 22; 20]).

Пусть s_i – доля i -го предприятия (фирмы) в общем выпуске рассматриваемой отрасли ($i = 1, 2, \dots, N$). Удобно считать, что эти величины упорядочены следующим образом: $s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_N$. Часто рассматривают долю i -го предприятия (фирмы) S_i , выраженную в процентах: $S_i \equiv s_i \times 100\%$, ($i = 1, 2, \dots, N$). Ясно, что и $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_N$. Наиболее популярными являются следующие два показателя.

Коэффициент рыночной концентрации $CR(k)$ (*Concentration Ratio*) определяется как сумма рыночных долей k крупнейших продавцов рынка, так что, по определению, $CR(k) \equiv \sum_{i=1}^k s_i$.

Используется и сходное обозначение CR_k . В России коэффициент рыночной концентрации рассчитывается с 1992 года для значений $k = 3, 4, 6, 8$. В США с помощью $CR(k)$ в сформулированы количественные антимонопольные стандарты министерства юстиции США [10, С. 121].

Индекс Херфиндаля – Хиршмана HHI (*Herfindahl – Hirschman Index, HHI index*) определяется как сумма квадратов рыночных долей конкурентов, так что $HHI \equiv \sum_{i=1}^N s_i^2$. Ино-

гда используется «частичный» индекс Херфиндаля – Хиршмана HHI_k – сумма квадратов рыночных долей k крупнейших продавцов рынка. Чем меньше индекс HHI , тем меньше концентрация и слабее рыночная власть отдельных фирм на рынке. В США, начиная с 1982 года, осуществляется регулярная публикация индекса HHI по отраслевым рынкам [10, С. 126]. В том случае, когда доли предприятий в общем выпуске рассматриваемой отрасли вы-

ражается в *процентах*, эти показатели записываются в виде $CR(k; \%) \equiv \sum_{i=1}^k S_i$ и

$$HNI(\%) \equiv \sum_{i=1}^N S_i^2 \text{ (ясно, что } CR(k;\%) = CR(k) \times 100 \text{ и } HNI(\%) = HNI \times 10000; \text{ обычно из кон-}$$

текста ясно, о каком варианте определения идет речь). Кроме указанных ранее, используются и другие показатели рыночной концентрации.

Коэффициенты концентрации и индекс конкуренции традиционно используются и в отечественной практике для характеристики отраслевых рынков. В то же время в современной зарубежной литературе предлагаются и альтернативные индикаторы и характеристики рынка. В частности, в работе [18] предлагается использовать в качестве *динамической* характеристики рынка показатель *турбулентность долей рынка (Market Share Turbulence)*. Опишем это последнее понятие.

Пусть T_1 и T_2 , $T_1 < T_2$ – две «даты», определяющие период времени $[T_1, T_2]$, для которых имеются данные о рыночных долях фирм данного отраслевого рынка. По определению, $MS^{LT_1 T_2}$ есть кумулятивная рыночная доля в момент T_2 тех фирм, которые были лидерами («Leaders») данного отраслевого рынка в момент T_1 (таким образом, речь здесь идет о фирмах-лидерах момента времени T_1 , *выживших* к моменту T_2). Далее, вводится в рассмотрение величина $MS^{ENT_2 T_2}$, задающая кумулятивную рыночную долю в момент T_2 его вновь вошедших («New Entrant») к моменту T_2 лидеров (в обоих случаях под лидерами понимается несколько, скажем n , первых по размеру рыночных долей фирм; обычно, для определенности, берется $n = 5$). Далее, по определению, полагается $C(n)_{T_2} = MS^{ENT_2 T_2} + MS^{LT_1 T_2}$ («*n*-firm concentration ratio») $CR(n)^{T_2} = MS^{LT_2 T_2}$.

В случае $n = 5$, очевидно, имеем: $C(5)_{T_2} = MS^{ENT_2 T_2} + MS^{LT_1 T_2}$ («5-firm concentration ratio»), и соответственно $CR(5)^{T_2} = MS^{LT_2 T_2}$. *Индекс турбулентности (Turbulence, Turbulence Index)* за период $[T_1, T_2]$, обозначаемый символом $TI_{[T_1, T_2]}$ (или $TURB_{[T_1, T_2]}$, или просто TI или $TURB$), есть

$$TI_{[T_1, T_2]} \equiv TURB_{[T_1, T_2]} = 1 - \frac{MS^{LT_1 T_2}}{C(5)_{T_2}} = 1 - \frac{MS^{LT_1 T_2}}{MS^{ENT_2 T_2} + MS^{LT_1 T_2}}.$$

Индекс турбулентности достигнет максимального значения ($TURB_{[T_1, T_2]} = 1$), если никто из лидеров рынка года T_1 не остался в пятерке лидеров по доле рынка к моменту T_2 , то есть на рынке произошли значительные перемены. Минимальное значение ($TURB_{[T_1, T_2]} = 0$) будет достигнуто в том случае, если пятерка лидеров рынка года T_1 осталась неизменной к моменту T_2 . Можно говорить, что индекс турбулентности является показателем стабильности рыночных позиций лидеров за рассматриваемый период.

В рамках структурного подхода используется следующая классификация рынков по степени их концентрации (табл. 1). Обсуждение и мотивировку этой классификации рынков см., например, в [8, С. 305; 10, С.122; 20].

Таблица 1

| Типы рынков по степени их концентрации | Условия, основанные на использовании индексов <i>HNI</i> и <i>CR(3)</i> | Условия, основанные на использовании индексов <i>HNI</i> и <i>CR(4)</i> |
|---|---|---|
| Высококонцентрированные рынки (I тип) | $70\% < CR(3) < 100\%$ $2000 < HNI < 10000$ | $80\% < CR(4) < 100\%$ $1800 < HNI < 10000$ |
| Умеренно концентрированные рынки (II тип) | $45\% < CR(3) < 70\%$ | $45\% < CR(4) < 80\%$ |

| | $1000 < HHI < 2000$ | $1000 < HHI < 1800$ |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Низкоконцентрированные рынки (III тип) | $CR(3) < 45\%$ $HHI < 1000$ | $CR(4) < 45\%$ $HHI < 1000$ |

2. Несколько слов о динамике роста рынка ИКТ. Как показывает анализ динамики мирового и российского рынков ИКТ за последние два десятилетия (см. данные, публикуемые Международным союзом электросвязи [17], Ассоциацией телекоммуникационной промышленности США [22], а также информацию из аналитических отчетов агентств «IKS-Consulting» [16] и «PMR Research» [19] и электронного издания Cnews.ru [14]), наблюдается достаточно активное развитие указанных рынков ИКТ (см. график динамики объема мирового рынка ИКТ с 1990г. по настоящее время на рис. 1).

Очевидно, что мировой рынок ИКТ демонстрирует уверенный рост на всем периоде наблюдения, и, несмотря на незначительное снижение в 2009 г. (влияние мирового кризиса), динамика 2010–2011 гг. и ближайших прогнозов положительна. График динамики рынка РФ сходен по виду с графиком мирового рынка, однако отличается некоторым запаздыванием во времени и в то же время более быстрым ростом. Активный рост рынка телекоммуникаций в РФ начинается с 2005 г. (мирового рынка – с 2000 г.), а темпы роста несколько опережают мировые.

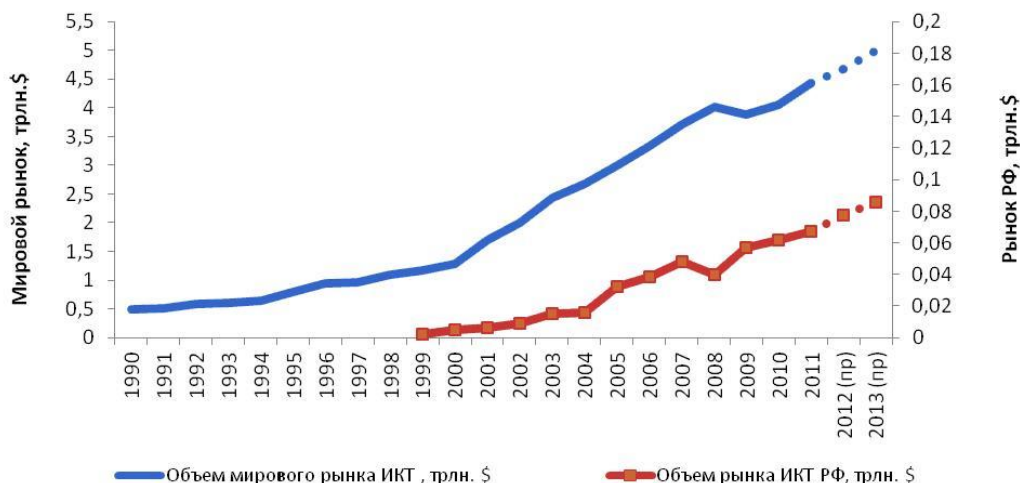


Рис. 1. Динамика объема мирового и российского рынков ИКТ

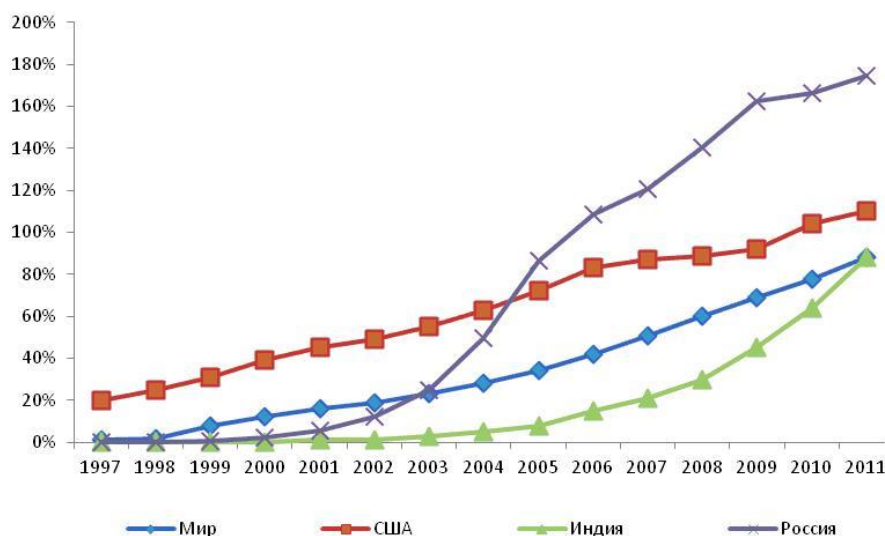


Рис. 2. Динамика проникновения сотовой связи

Рынок ИКТ РФ был менее подвержен воздействию финансового кризиса в 2008–2009 гг. по сравнению с мировым. Мировой рынок ИКТ уже в 2008г. показал снижение более чем на 5%, а падение объемов в 2009 г. составило около 3,2 % относительно 2008 г. В то же время рынок РФ продолжил свой рост, но с более низкими темпами – 5,4% в 2009 г. по сравнению с ростом на 21% в 2008 г.

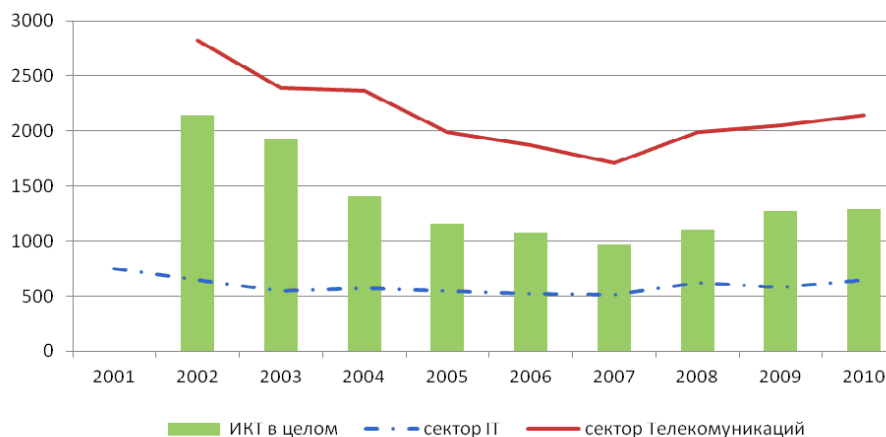
Примечательно, что динамика проникновения² сотовой связи в России, представленная на рис. 2, также демонстрирует более позднее, по сравнению с США и мировым показателем, начало периода внедрения услуги на рынке [2]. Активный рост проникновения в России начинается только в 2003 г., однако значительно опережает по темпам роста мировые показатели роста и темпы роста США.

Сопоставление графиков динамики роста российского и мирового рынков ИКТ позволяет считать весьма правдоподобной гипотезу о том, что российский рынок телекоммуникационных услуг может демонстрировать активный рост ещё в течение ближайших 3-5 лет. Относительное запаздывание «российского графика» на рис. 1 позволяет также предположить, что мировая статистика может служить ориентиром для прогноза показателей отечественного телекоммуникационного рынка.

Отметим, что объем рынка ИКТ складывается из оказываемых услуг, реализации оборудования, его материальной базы и программных продуктов. Большая часть объема отечественного рынка ИКТ не связана с производимыми в России *торгуемыми (tradable)* продуктами (то есть продукцией и услугами, которые можно свободно экспортировать и импортировать). Более того, большая часть оборудования, его материальной базы и программных продуктов производится за рубежом и там закупается. Объем производства этих товаров в самой России в настоящее время чрезвычайно мал. Поэтому рост сектора ИКТ в России пока что практически вносит вклад почти исключительно в *рост сектора услуг*. Тем не менее, этот факт имеет позитивный характер: развитие сектора ИКТ позволяет говорить о начавшемся формировании фундамента экономики, основанной на знаниях (информационного общества) – о начале создания инфраструктуры, позволяющей эффективнее использовать накопленный опыт и знания в производстве и потреблении [5]. Этот тренд отвечает общемировой тенденции возрастания роли сектора услуг и соответствующего сокращения суммарного вклада в ВВП сельского хозяйства и промышленности (см., например, [21, Р. 20]).

3. Особенности структуры российского рынка ИКТ. В основу проведенного исследования конкурентной ситуации на рынке ИКТ РФ были положены данные о рейтингах ведущих российских телекоммуникационных и ИТ – компаний по объему реализации в период 2008–2010 гг. Эти сведения регулярно публикуются аналитической группой ТАСС-Телеком [9].

Динамика индекса Херфиндаля — Хиршмана для секторов ИТ и телекоммуникаций



² Проникновение услуги на рынок (в стране) – это, по определению, отношение числа пользователей услуги к численности населения, выраженное в процентах.

Рис. 3. Динамика индексов конкуренции Херфиндаля – Хиршмана HHI для российского рынка ИКТ и его секторов за период 2001–2010 гг.

На основании этой информации были рассчитаны коэффициенты рыночной концентрации и индекс Херфиндаля – Хиршмана. Представленные данные [9] позволяют также выделить на рынке ИКТ РФ предприятия сектора информационных технологий (ИТ) и предприятия сектора телекоммуникаций (ТК); это дает возможность рассчитать также индекс Херфиндаля – Хиршмана HHI (см. рис. 3). Здесь и далее символами ИКТ (или $HHI_{икт}$), ИТ (или $HHI_{ит}$) и ТК (или $HHI_{тк}$) обозначены значения индекса конкуренции Херфиндаля – Хиршмана HHI для сектора ИКТ в целом, сектора ИТ, и сектора ТК, соответственно. Далее приведен также график величины коэффициентов рыночной концентрации $CR(k)$ для каждого из указанных секторов (см. рис. 4).



Рис. 4. Динамика коэффициентов рыночной концентрации $CR(4)$ для секторов российского рынка ИКТ за период 2001–2011 гг.

Анализ приведенных данных (см. рис. 3, 4) позволяет получить ряд достаточно интересных выводов как для сектора ИКТ в целом, так и для секторов ИТ и ТК. Значения индекса Херфиндаля – Хиршмана $HHI_{ит}$ для сектора ИТ в период 2002–2011 гг. лежат в интервале $0 < HHI_{ит} < 1000$. При этом для коэффициентов рыночной концентрации выполнены неравенства $CR(3) < 45\%$, $CR(4) < 45\%$. Это, в соответствии с табл. 1, является показателем достаточно низкоконцентрированного рынка (III тип). Таким образом, этот сектор российского рынка ИКТ демонстрирует низкую степень монополизации, т.е. является конкурентным рынком. Колебания индекса $HHI_{ит}$ в 2008–2010 гг. отражают влияние кризиса на отрасль. Значения индекса Херфиндаля – Хиршмана $HHI_{тк}$ для сектора ТК в период 2002–2011 гг. лежат в основном в интервале $1800 < HHI_{тк} < 10000$ (единственное исключение 2007 г., для которого $HHI_{тк} = 1706$). При этом для коэффициентов рыночной концентрации выполнены неравенства $CR(3) > 70\%$, $CR(4) > 80\%$ (исключения составляют 2006 и 2007 годы, для которых, соответственно, $CR(3) = 69,10\%$ и $CR(3) = 65,30\%$). Это, в соответствии с табл. 1, свидетельствует о том, что данный сектор российского рынка ИКТ является высококонцентрированным рынком (I тип), и, следовательно, демонстрирует *весьма высокую степень монополизации*.

Таким образом, сектор ИТ и сектор ТК российского рынка ИКТ демонстрируют не только значительные отличия по степени конкурентности, но также и то, что и влияние финансового кризиса на компании этих секторов было различным.

Если рассматривать значения индекса Херфиндаля – Хиршмана $HHI_{икт}$ для российского рынка ИКТ в целом в период 2002–2011 гг., то, как нетрудно видеть, его значения лежат в основном в интервале $1000 < HHI_{икт} < 2000$ (исключения – 2002 и 2007 годы, для

которых соответственно $HNI_{ИКТ} = 2142$ и $HNI_{ИКТ} = 968$). При этом для коэффициентов рыночной концентрации выполнены неравенства $CR(3) > 70\%$, $CR(4) > 80\%$ (исключениями являются 2006, 2007 гг., для которых $CR(3) = 69,10\%$ и $CR(3) = 65,30\%$, соответственно). Если исходить из значений индекса $HNI_{ИКТ}$, то можно предположить (см. табл. 1), что российский рынок ИКТ «в целом» является умеренно концентрированным рынком (II тип).

Значительный интерес представляет оценка «уровня неравновесности» рынка ИКТ. Его характеристикой может служить индекс турбулентности. Графики динамики индекса турбулентности для секторов ИТ и ТК российского рынка ИКТ в период 2001–2010 гг. представлены ниже на рис. 5.

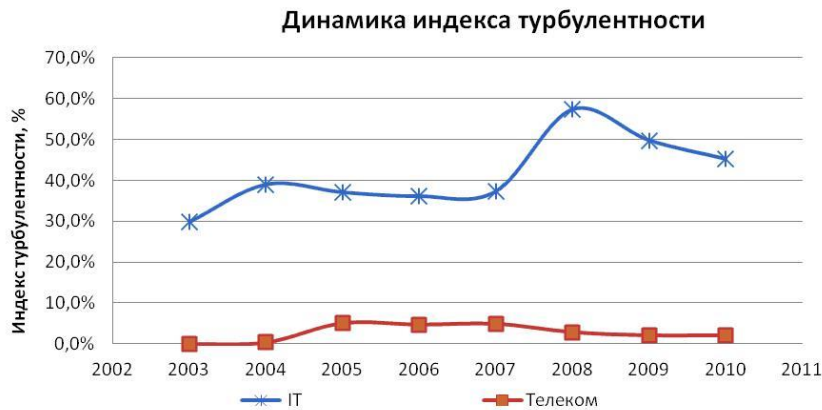


Рис. 5. Динамике индекса турбулентности для секторов ИТ и ТК российского рынка ИКТ в период 2001–2010 гг.

Как следует из данных рис. 5, в смысле конкуренции сектор ИТ является значительно более динамичным, нежели телекоммуникации. Кривая, отражающая индекс турбулентности для сектора телекоммуникаций, демонстрирует возрастание в 2005–2008 гг., когда не только интенсивно развивались федеральные операторы связи, но и региональные компании занимали значительные рыночные позиции. К 2010 г., после поглощения региональных операторов федеральными, количество игроков рынка, претендующих на лидерство, сократилось и снова ограничивается федеральными компаниями.

Опишем кратко динамику структуры доходов от телекоммуникационных услуг РФ. Данные рейтингов «Крупнейшие российские компании на рынке информационных и коммуникационных технологий» рейтингового агентства «Эксперт РА» [7, 13] и «Крупнейшие телекоммуникационные компании России» за 2002–2011 гг. [14] дают следующую её картину (см. рис. 6).



Рис. 6. Динамика структуры российского рынка ИКТ по доходам в период 2001–2011 гг.

Более подробная информация о динамике структуры российского рынка ИКТ по доходам в период 2001 – 2011 гг. приведена в табл. 2.

Таблица 2**Динамика структуры доходов от услуг связи
российского рынка ИКТ в период 2003–2011 гг.**

| Виды связи | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Подвижная связь | 35,4% | 41,1% | 42,9% | 45,8% | 44,0% | 44,6% | 43,5% | 43,8% | 44,1% |
| Услуги присоединения и пропуска трафика | 8,7% | 10,1% | 10,8% | 10,2% | 13,2% | 13,4% | 13,9% | 13,8% | 13,8% |
| Местная телефонная связь | 18,4% | 16,3% | 16,0% | 14,2% | 12,9% | 11,3% | 11,2% | 11,7% | 10,1% |
| МГ/МН, внутризонавая связь | 18,2% | 14,6% | 11,9% | 11,6% | 10,9% | 10,3% | 9,1% | 8,1% | 6,5% |
| Почтовая связь | 6,9% | 6,1% | 6,2% | 6,2% | 6,3% | 6,7% | 7,0% | 7,1% | 7,2% |
| Документальная электросвязь | 6,5% | 6,9% | 7,4% | 7,7% | 7,9% | 9,0% | 10,6% | 10,9% | 12,7% |
| Прочее | 5,8% | 4,9% | 4,8% | 4,4% | 4,6% | 4,7% | 4,7% | 4,8% | 5,6% |

Согласно данным, приведенным ранее (см. рис. 6 и табл. 2), от ~73% до ~89% выручки ИКТ отрасли генерируется телекоммуникационным сектором российского рынка ИКТ. По данным портала [14], самая большая доля доходов от услуг связи в РФ приходится на услуги подвижной (мобильной) связи. Как уже отмечалось ранее, развитие телекоммуникационной отрасли рассматривается как одно из приоритетных направлений развития экономики РФ. В свете изложенного высокие требования предъявляются к эффективности российских телекоммуникационных компаний как к ключевому фактору развития отрасли. Серьезным фактором эффективности, требующим отдельного изучения, является быстрая смена услуг, как следствие быстрого появления и практического внедрения новых технологий. Требуется уже не только эффективное внедрение технологических решений, но и своевременный вывод с рынка устаревающих услуг, с последующей заменой современными аналогами – а значит, необходим аналитический инструментарий, позволяющий прогнозировать оптимальные сроки такой замены.

4. Подводя некоторые итоги исследования, можно отметить, что российский рынок ИКТ в настоящее время является достаточно динамично развивающимся, и в ближайшие 3-5 лет следует ожидать его дальнейший активный рост; телекоммуникационный сектор российского рынка ИКТ является устойчивым лидером по доходам – его вклад составлял в разные годы от ~73% до ~89% – и сохранение его лидирующей роли также вполне реально. При этом мировая статистика может служить ориентиром для прогноза показателей отечественного телекоммуникационного рынка.

Сектор информационных технологий российского рынка информационных и коммуникационных технологий является достаточно низк концентрированным рынком и демонстрирует низкую степень монополизации, т.е. является конкурентным рынком. Сектор телекоммуникаций российского рынка ИКТ является высококонцентрированным рынком, и, следовательно, демонстрирует весьма высокую степень монополизации. Таким образом, секторы российского рынка информационных и коммуникационных технологий демонстрируют значительные отличия по степени конкурентности. Если же рассматривать российский рынок ИКТ «в целом» в период 2002–2011 гг., то можно считать, что «в целом» российский рынок ИКТ является умеренно концентрированным рынком. Так как для него характерен высокий барьер к входу, то российский рынок ИКТ имеет тенденцию к олигополии.

Динамические особенности российского рынка ИКТ характеризуют приводимые в работе данные о динамике индекса турбулентности для его секторов ИТ и ТК. Как следует из результатов работы, сектор информационных технологий в смысле конкуренции является

значительно более динамичным, нежели сектор телекоммуникаций.

В связи с отмеченным фактом представляет значительный интерес детальное исследование вопроса о том, является ли российский рынок ИКТ целостным объектом изучения? Например, подобный вопрос в связи с изучением рынка банковских услуг поставлен в работе [1, С.53]: «... можно ли в условиях столь территориально протяженной страны, как Россия, считать ее рынок целостным объектом изучения и регулирования? ... Проведенные эмпирические исследования позволяют предположить, что выражение «российский рынок банковских услуг» – это скорее теоретическая абстракция, так как в действительности наблюдается совокупность локальных рынков по отдельным банковским продуктам и услугам».

Большая часть объема отечественного рынка ИКТ не связана с производимыми в России продуктами: основная часть оборудования, его материальной базы и программных продуктов производится за рубежом и там закупается. Объем производства этих товаров в самой России ничтожно мал. Поэтому рост сектора ИКТ в России означает в действительности рост сектора услуг. Доля России на мировом рынке электронной техники и компонентов составляет не более 0,1–0,3%; на мировом рынке информационных услуг доля России составляет величину ~ 0,2%. Вклад ИКТ в экономический рост России заметно ниже (приблизительно в три раза!) соответствующих показателей развитых стран.

Важность принятия уже в ближайшем будущем реальных мер в интересах обеспечения процесса перехода российской экономической системы к инновационному пути развития, целью которого является создание инновационной экономики, основанной на знаниях, не вызывает сомнений. Понимание этого нашло своё отражение в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года [8]; в [6, 10, 11] представлена Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации. В этих документах находит своё отражение и важная роль, которую играет развитие сектора ИКТ.

Библиографический список

1. **Анисимова, А.И.** Структура рынка банковских услуг и ее влияние на конкуренцию (на примере двух российских регионов) / А.И. Анисимова, А.В. Верников // Деньги и кредит. 2011. № 11. С. 53–62.
2. Данные портала <http://www.mobsvjaz.ru/> со ссылкой на исследование компании «Коминфо Консалтинг» и <http://investedd.blogspot.com/2011/10/poverty-fighting-mobile-transaction.html> со ссылкой на The World Bank Database. (дата обращения 01.02.2012).
3. **Джуха, В.М.** Экономика отраслевых рынков: учеб. пособие / В.М. Джуха, А.В.Курицын, И.С. Штапова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КНОРУС, 2012. – 288 с.
4. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Утверждена распоряжениями Правительства Российской Федерации от 17.11.2008 N 1662-р и от 08.08.2009 N 1121-р). – 94 с.
5. **Макаров, В.Л.** Микроэкономика знаний / В.Л. Макаров, Г.Б.Клейнер. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2007. – 204 с.
6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 октября 2010г. № 1815-р г. Москва «О государственной программе Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)» // Российская газета. 16 ноября 2010г., № 5337. Российская газета №5337
7. Рейтинговое агентство «Эксперт РА», сайт. URL: <http://www.raexpert.ru/> (20.01.2012).
8. **Розанова, Н.М.** Экономика отраслевых рынков: учеб. пособие / Н.М. Розанова. – М.: Издательство Юрайт, 2010. – 906 с.
9. ТАСС-Телеком, сайт. URL: <http://tasstelecom.ru/> (дата обращения 01.02.2012).
10. Теория и практика конкуренции: учебник для студентов экономических специальностей / под ред. Ю.Б. Рубина. Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ). – М.: Изд. МЭСИ, 2002. – 428 с.
11. Стратегия социально-экономического развития Приволжского федерального округа: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 7 февраля 2011г. № 165-р г. Москва «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Приволжского федерального

- округа на период до 2020 года». URL: <http://www.rg.ru/2011/02/22/privoljye-site-dok.html> (дата обращения 25.12.2011).
12. «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации». № Пр-212 от 7 февраля 2008г. // Российская газета. 16 февраля 2008г., № 4591. Российская газета № 4591.
 13. **Ходырев, А.** Рынок информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и список крупнейших ИТ - компаний по итогам 2010 года / А. Ходырев, В. Ханферян, // Бюллетень рейтингового экспертного агентства «Эксперт РА». 25 апреля 2011 г., http://www.raexpert.ru/rankingtable/?table_folder=/it/2010/main/.
 14. Cnews.ru / Си-ньюс (ежедневное Интернет – издание). URL: <http://www.cnews.ru>. (дата обращения 01.12.2011)
 15. **Curry, B.** Industrial Concentration: A Survey / B. Curry, K.D. George // The Journal of Industrial Economics. 1983. Vol. 31. № 3. P. 203–255.
 16. iKS-Consulting, сайт. URL: <http://www.iksconsulting.ru>. (дата обращения 18.12.2011).
 17. International Telecommunication Union (Международный союз электросвязи), сайт. URL: <http://www.itu.int>. (дата обращения 08.12.2011).
 18. **Matraves, C.** Product Differentiation, Industry Concentration and Market Share Turbulence / C. Matraves, L. Rondi // International Journal of the Economics of Business. 2007. Vol. 14. № 1. P. 37–57.
 19. PMR Research (Польша), сайт. URL: <http://www.research-pmr.com>. (дата обращения 18.12.2011).
 20. **Scherer, F.M.,** Ross D., Industrial Market Structure and Economic Performance. – Boston: Houghton Mifflin Company. 1990. Русский перевод: Шерер Ф., Росс Д., Структура отраслевых рынков: [пер. с англ.] – М.: ИНФРА-М. 1997. – 698 с.
 21. **Šlaus, I.,** Jacobs G., Human Capital and Sustainability // Sustainability. 2011. Vol.3. №1. P. 97 – 154. www.mdpi.com/journal/sustainability (11.04.2013).
 22. Telecommunications Industry Association, TIA (Ассоциация телекоммуникационной промышленности США), сайт. URL: <http://www.tiaonline.org>. (дата обращения 05.12.2011).
 23. **Tirole, J.,** The theory of Industrial Organization. – Cambridge (Massachusetts) – London (England): The MIT Press. 1997. Русский перевод: Тироль Ж., Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности: в 2 т. – изд. 2-е испр.: [пер. с англ. под ред. В.М. Гальперина и Н.А. Зенкевича]. – СПб.: Экономическая школа, 2000. Т. 1. – 328 с.; 2000. Т. 2. – 450 с.

*Дата поступления
в редакцию* 04.06.2013

Yu.A. Kuznetsov, S.E. Markova

ANALYSIS OF QUALITATIVE FEATURES OF THE RUSSIAN ICT MARKET DEVELOPMENT DYNAMICS. STRUCTURAL APPROACH

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod – National Research University

Purpose: The analysis of dynamics and a general characteristic of qualitative features of development of the Russian market of the information and communication technologies (ICT) playing the important role in economy of the Russian Federation.

Methodology: Methodology of the structural approach “Structure – Conduct – Performance”.

Results and area of their application: In this article on the basis of the statistical data on the Russian ICT market with application of the methodology of the structural approach and the concept of “turbulence of the market” the dynamics and qualitative features of development of Russian market ICT are analysed. Result of research are, in particular, the estimation of a degree of monopolization of market ICT and the characteristic of tendencies of development of market ICT on immediate prospects.

Conclusions: At the present time Russian ICT market is dynamically develops: the nearest 3-5 years it is necessary to expect its further active growth. The telecommunication sector of Russian market ICT is the steady leader of branch (its contribution into total income makes in different years from 73 % up to 89 %). The world statistics can serve as reliable enough reference point for the forecast of parameters of the domestic telecommunication market. “As a whole” Russian ICT market is moderately concentrated market having the tendency to oligopoly

Key words: economic growth, social-economic development, information and communication technologies, structure of the information and communication technologies market, innovations.

УДК 330.322

С.Н. Яшин, Н.А. Мурашова

ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, КАК ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: оценка степени влияния финансирования на эффективность инновационной составляющей экономики России.

Методология: достижение поставленной в работе цели осуществляется с использованием системного подхода, анализа статистических данных результативности деятельности фондов поддержки инновационных проектов.

Результаты и область их применения: результатом исследования является обоснование решения основных задач финансирования науки, связанных с активизацией и повышением эффективности инновационной деятельности.

Выводы: существенное повышение активности и эффективности инновационной составляющей российской экономики связано с разработкой механизма финансирования науки, основанного на анализе сбалансированности структуры инвестиционных ресурсов и пропорциональности их распределения по секторам экономики и регионам РФ.

Ключевые слова: инвестиционные ресурсы; оценка эффективности инновационной деятельности; объем финансирования; государственное регулирование; научно-технический потенциал; бюджет.

Организациям, в разной степени реализующим инновационную деятельность, необходимо разработать механизм, способствующий ее развитию. Поэтому, еще в 1992 году были приняты меры по сохранению научно-технического потенциала РФ: создание Российского фонда фундаментальных исследований; образование внебюджетного Российского фонда технического развития; освобождение учреждений науки и техники, финансируемых преимущественно из бюджета РФ, от платы за землю и налога на имущество; освобождение объединений и предприятий от налогообложения части прибыли, направленной на НИОКР, а также в Российский фонд технологического развития; освобождение объединений и предприятий от уплаты НДС за выполнение НИОКР, финансируемых из Российского фонда фундаментальных исследований, Российского фонда технологического развития и внебюджетных фондов, образуемых на эти цели. В 1994 году учреждения научно-технического профиля независимо от формы собственности были освобождены от налога на землю, создан Российский гуманитарный научный фонд. В 1995 году был образован Федеральный фонд производственных инноваций [4].

В соответствии с Федеральным законом «О науке и государственной научно-технической политике» Правительство РФ приняло постановление от 13 октября 1999 г. № 1156 «Об утверждении Порядка образования и использования внебюджетных фондов федеральных органов исполнительной власти и коммерческих организаций для финансирования научных исследований и экспериментальных разработок», согласно которому федеральные органы исполнительной власти и коммерческие организации могут создавать внебюджетные фонды. Министерство образования и науки РФ создало российский фонд технологического развития, федеральные министерства и ведомства – фонд финансирования научных исследований и экспериментальных разработок, коммерческие организации – фонды финансирования научных исследований и экспериментальных разработок [1, 2].

Внебюджетные фонды федеральных органов и коммерческих организаций создаются по согласованию с Министерством образования и науки РФ и формируются за счет добровольных отчислений организаций. Суммы отчислений средств в размере до 1,5% себестоимости производимой продукции (работ, услуг) включаются организациями в себестоимость

продукции (работ, услуг). В случае, когда средства, предназначенные для отчисления во внебюджетный фонд, не перечислены в указанный фонд, налогооблагаемая прибыль организации увеличивается на сумму этих средств. Не подлежат включению в себестоимость отчисления организаций, если производимая продукция (работы, услуги) изготавливалась для государственных нужд за счет ассигнований из федерального бюджета [3]. Организации, в которых созданы внебюджетные фонды, представляют отчетность о движении средств внебюджетных фондов в Министерство финансов РФ, Росстат и Министерство образования и науки РФ. Контроль за целевым использованием средств внебюджетных фондов осуществляют Министерство образования и наук РФ и Министерство финансов РФ. При реорганизации коммерческих организаций средства их внебюджетных фондов передаются в установленном порядке во внебюджетные фонды их правопреемников.

Федеральные органы и коммерческие организации в соответствии с договором с Министерством образования и науки РФ ежеквартально перечисляют в Российский фонд технологического развития 25% средств, поступающих в их внебюджетные фонды.

В составе источников финансирования выделяют:

- средства бюджета, в том числе федерального, бюджетов субъектов Федерации и местных бюджетов, получаемые организацией непосредственно или по договорам с заказчиком (57-64%);
- собственные средства организаций (предприятий), выполняющих научные исследования и разработки или осуществляющих инновации (из прибыли либо за счет себестоимости выпускаемой продукции, работ, услуг) (20-25%);
- средства внебюджетных фондов (фонда стабилизации экономики, фонда регионального развития, отраслевых и межотраслевых внебюджетных фондов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, фонда конверсии и другие) (6-10%);
- иностранные источники – средства, получаемые организацией (предприятием), юридическими и физическими лицами, находящимися вне политических границ государства, а также от международных организаций (6-14%);
- заемные средства (банковские, коммерческие кредиты и другие), предоставляемые на возвратной основе, в качестве первичных источников финансирования не рассматриваются.

Главными распорядителями бюджетных средств на науку являются:

- 1) Министерство образования и науки (и все его министерства-предшественники);
- 2) академии наук, имеющие государственный статус Российская академия наук – РАН, в том числе три региональных отделения;
- 4) бюджетные фонды поддержки науки;
- 5) министерства и ведомства.

Выделяют следующие формы распределения бюджетных средств на науку: базовое (сметное) финансирование; программно-целевое финансирование; через механизм госзаказа; через бюджетные фонды (грантовое финансирование).

Федеральные целевые программы (ФЦП) – инструмент реализации приоритетных задач государства и одновременно форма бюджетного финансирования науки. В 1990-х гг. число ФЦП было чрезмерно большим (от 96 до 155 федеральных целевых программ). Это привело к тому, что ресурсы, необходимые для их реализации, стали превосходить экономические возможности государства. В 2004 г. система ФЦП подверглась значительным изменениям, в результате которых общее число программ сократилось: в 2005 г. финансировалось уже 54 ФЦП. Реструктуризация ФЦП продолжилась и в 2006 г. На сегодняшний день реализуется 52 ФЦП. Инициатором пересмотра ФЦП выступило Министерство экономического развития и торговли, которое одновременно с сокращением общего числа ФЦП предложило увеличить удельный вес их финансирования в общей структуре бюджетных расходов и ужесточить контроль над использованием бюджетных средств. В 2004 г. финансирование НИОКР осуществ-

лялось в рамках 40 ФЦП. В 2005 г. к финансированию было принято 33, а в 2006 г. – 23 ФЦП, включающие проведение НИОКР. Сегодня самыми наукоемкими являются четыре ФЦП, на которые приходится почти 87% суммарных расходов на НИОКР, финансируемых в рамках ФЦП: Федеральная космическая программа; развитие гражданской авиации; национальная технологическая база; исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники. Реструктуризация системы ФЦП была обусловлена низкими темпами развития инновационного сегмента экономики России, при этом 95,7% – расходы на ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники».

Общий объем финансирования федеральных целевых программ в 2009 году составит более 1,054 триллиона руб. На программу развития образования в 2009 году выделено 12,9 млрд руб. В 2010 году бюджет российского образования сократится на 10%. Бюджет ряда программ в 2010 году был сокращен на порядок по сравнению с 2009 годом, одной из причин стал финансовый кризис.

В последние годы участие бизнеса в финансировании НИОКР не стало активнее, другими словами, бизнес не обеспечил обещанного уровня софинансирования, в частности, по ФЦП: «Национальная технологическая база» объем внебюджетного финансирования составил лишь 10% от запланированного; «Развитие гражданской авиационной техники России» внебюджетное финансирование составило 4% от обещанных инвестиций; «Живые системы» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на период 2007–2012 гг.» из обязательных 5,5 млрд руб. внебюджетных средств привлечено только 1,6 млрд руб.

Недофинансирование НИОКР со стороны бизнеса наблюдается при реализации важнейших инновационных проектов государственного значения – *мегапроектов*, которые являются одним из первых примеров использования инструмента государственно-частного партнерства (ГЧП) в научно-технической сфере. Однако потребность бизнеса в проведении НИОКР нарастает по мере устаревания оборудования и используемых технологий. В рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы», бизнес предлагал собственные тематики НИОКР. Условием софинансирования являлось покрытие из средств компаний 50% стоимости проекта в случае реализации прикладных работ и 70% стоимости проекта в случае выполнения проекта по коммерциализации. В 2007 г. на такой конкурс поступило около 400 заявок от 83 компаний, что значительно превысило возможности Роснауки по софинансированию проектов. Это свидетельствует о наличии у компаний как потребностей в реализации НИОКР, так и ресурсных возможностей по софинансированию.

Создание в России государственных научных фондов стало результатом стремления государства смягчить обострившееся несоответствие между традиционными организационными формами науки, структурой и объемом исследовательских работ, с одной стороны, и резко сократившимися возможностями их ресурсного обеспечения – с другой. В 1992 г. был создан первый государственный научный фонд – Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), финансирующий фундаментальные исследования по всем областям наук, а затем – Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ) в 1994 г. Грантообразующими организациями являются: Благотворительный фонд «Научное партнерство»; Конкурсный центр фундаментального естествознания; Красноярский краевой фонд науки; Международный благотворительный научный фонд имени К.И. Замараева; Международный благотворительный фонд имени Д.С. Лихачева; Международный научно-технический центр (МНТЦ); Международный научный фонд экономических исследований академика Н.П. Федоренко; Международный союз экономистов; Международный фонд «Поколение»; Межрегиональный общественный фонд «Открытая Сибирь»; Московский общественный научный фонд; Национальная валютная ассоциация; Независимый институт социальной политики; Некоммерческий фонд «Глобальная энергия»; Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского; Российская благотворительная организация ИНО-Центр; Российский гу-

манитарный научный фонд (РГНФ); Российский фонд технологического развития; Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ); Федеральная целевая программа «Интеграция» и другие.

Основными отечественными фондами, осуществляющими грантовую поддержку научно-исследовательских работ по всем направлениям фундаментальных наук без каких-либо ведомственных ограничений, являются РФФИ и Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ). Через первый распределяются порядка 6% от расходов бюджета на гражданскую науку, через второй – примерно 1%. В 1992 году были сформированы РФФИ и РГНФ, а в 1993 году – сеть из более чем полусотни государственных научных центров (ГНЦ). Один из основополагающих принципов работы РФФИ – адресность финансирования: фонд целевым образом финансирует не организацию в целом, а группу ученых, выполняющую именно тот проект, который одобрен экспертами РФФИ. Это обусловлено повышением расходования ограниченных инвестиционных ресурсов, а также низкой эффективностью развития наукоемкой сферы России. Фонд предоставляет средства на безвозвратной некоммерческой основе. Непременным условием предоставления средств фондом является обязательство ученого, группы ученых или научной организации опубликовать результаты исследований, проведенных на средства фонда, и сделать их общественным достоянием.

Средства фонда формируются за счет: государственных ассигнований, составляющих до 6% от средств, выделяемых на гражданскую науку в бюджете Российской Федерации; добровольных взносов предприятий, учреждений, организаций и граждан, в том числе иностранных юридических и физических лиц.

Данные о финансировании РФФИ из бюджета государства с 1993 по 2013 года показывают, что объемы финансирования в период с 2009 по 2011 года снижались на 1 млрд руб., что обусловлено восстановлением экономики России после финансового кризиса. Следует отметить, что в 2012 и 2013 годах размеры бюджета составляют более 8 млрд руб., что больше на 3 млрд руб. по сравнению с 2011 годом. Отчасти это связано с принятием «Стратегии социально-экономического развития до 2020 года».

Распределение средств между различными видами деятельности РФФИ ежегодно утверждается Советом фонда. Основная часть средств фонда (более 70%) направляется на финансирование инициативных научных проектов, выполняемых небольшими научными коллективами (до 10 человек) или отдельными учеными. В соответствии с планом распределения бюджетных средств по видам деятельности РФФИ в 2013 г. 50% бюджетных средств направлено на развитие коммуникативности научного сообщества, с целью интеграции знаний, а также пропаганду научно-исследовательской деятельности.

Между областями знания финансовые средства распределяются с учетом количества поступающих заявок на конкурс инициативных проектов. Согласно этому распределению, более 21% средств направлены на биологию и медицину, это связано с тем, что в соответствии с Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. №988 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ» эта область знаний входит в первую пятерку.

РГНФ был создан по Постановлению Правительства Российской Федерации 8 сентября 1994 г. в целях государственной поддержки развития гуманитарных наук, приумножения накопленных научных знаний и широкого распространения их в обществе, возрождения традиций отечественной гуманитарной науки. Динамика основных показателей деятельности РГНФ показывает, что в 2008 году наблюдался пик числа поддержанных проектов, после чего до 2011 года происходит спад до 2840 шт., а в 2012 году наблюдается незначительный рост. В 2012 г. РГНФ провел 80 конкурсов научных проектов. На конкурсы РГНФ 2012 г. поступили и прошли экспертизу 9263 заявки. Рост активности участников проектов связан реформированием научной сферы в России, в частности, исключение из перечня критических технологий гуманитарных наук.

Анализ распределения проектов по областям наук в 2012 г. показывает, что 17% со-

ставляют экономические науки, 16% – философские науки и по 13% – исторические науки и фундаментальные проблемы образования. Такое распределение обусловлено приоритетностью проблем, входящих в круг интересов РГНФ. Наибольшее число проектов, профинансированных в 2012 г., выполняли ученые Центрального федерального округа – 47%, так как именно в этом субъекте федерации сконцентрирован научный потенциал страны. Профинансированные проекты выполняли ученые, работающие в 678 организациях. В 2012 г. фонд профинансировал 2641 проект проведения научных исследований (включая 1306 продолжающихся проектов 2010–2011 гг.).

Результаты исследований проектов, поддержанных РГНФ в 2012 г., опубликованы в более чем 15,5 тыс. статей в отечественных и зарубежных научных изданиях, монографиях, доложены на различных российских и международных конференциях, съездах и форумах. Часть статей публикуется в изданиях, входящих в список ВАК – около 3 тыс. статей, более 1 тыс. статей опубликованы в зарубежных изданиях, на иностранных языках и в системе *Web of Science*. Это отражает процесс реализации «Стратегии социально-экономического развития на 2020 год», направленной на развитие наукоемкого сегмента рынка России.

Конкурсное финансирование через гранты, осуществляемое государственными научными фондами, является на сегодняшний день наиболее прозрачной формой финансирования науки. Однако бюджет фондов в течение многих лет не меняется (он составляет 7 % государственных расходов на гражданскую науку).

Одним из видов ГЧП стало формирование инновационной инфраструктуры, а в частности, создание венчурных фондов и технопарков с участием государства. Для реализации модели «фонда фондов» было образовано открытое акционерное общество «Российская венчурная компания» (ОАО «РВК»), в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 7 июня 2006 года № 838-р [3]. Основные цели деятельности ОАО «РВК» — стимулирование создания в России собственной индустрии венчурного инвестирования и значительное увеличение финансовых ресурсов венчурных фондов. Уставный капитал ОАО «РВК» составляет 30 011 320 700 руб. 100% капитала ОАО «РВК» принадлежит РФ в лице Федерального агентства по управлению государственным имуществом РФ (Росимущество).

Приоритетные направления инвестирования венчурных фондов, формируемых с участием ОАО «РВК», определены в соответствии с перечнем критических технологий, утвержденным Президентом РФ, в который входят: безопасность и противодействие терроризму; живые системы (понимаемые как биотехнологии, медицинские технологии и медицинское оборудование); индустрия наносистем и материалов; информационно-телекоммуникационные системы; рациональное природопользование; транспортные, авиационные и космические системы; энергетика и энергосбережение.

Общее количество фондов, сформированных ОАО «РВК», достигло двенадцати (включая два фонда в зарубежной юрисдикции), их размер – более 26 млрд руб., доля ОАО «РВК» – более 16 млрд руб. Число проинвестированных фондами ОАО «РВК» инновационных компаний в январе 2013 года достигло 139. Совокупный объем проинвестированных средств – 12,1 млрд руб., 56% – это г. Москва. ОАО «РВК» подписано 28 соглашений о сотрудничестве с регионами РФ [5].

ООО «Фонд посевных инвестиций РВК» (ФПИ РВК, Фонд) создано 22 октября 2009 г. Объем средств под управлением фонда – 2 млрд руб. Фонд предоставляет не более 75% от объема инвестиционной потребности Инновационной компании в денежных средствах и не более 25 000 000 руб. на первом раунде инвестирования. Фонд осуществляет соинвестирование средств совместно с частными инвесторами.

25 июня 2010 г. в Великобритании был зарегистрирован венчурный фонд *RUSSIAN VENTURE CAPITAL II LP* (позднее преобразован в *RVC IVFRT LP*), формируемый за счет капитала РВК, инвестиционным фокусом которого является присоединение к ведущим международным венчурным фондам поздней стадии. 6 сентября 2010 года ОАО «РВК» сообщила о закрытии сделки по присоединению к венчурному фонду поздней стадии *Institutional Venture*

Partners XIII (IVP XIII). IVP сформирован новый фонд размером \$750 млн с фокусом на технологические инновационные компании поздней стадии развития. Инвестиции ОАО «РВК» в фонд IVP XIII составили \$10 млн. В 2011 году *RUSSIAN VENTURE CAPITAL II LP* присоединился еще к двум крупным международным венчурным фондам, зарегистрированным в США: *Trident Capital Fund VII* и *DCM VI*.

В феврале 2012 года ГНО «Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан» (ИВФ РТ) и ОАО «РВК» на паритетных началах создали совместный международный венчурный фонд, направленный на присоединение к международным венчурным фондам, специализирующимся на инвестициях в инновационные компании. Инвестиционно-венчурным фондом Республики Татарстан и РВК разработана схема создания в Великобритании на паритетной основе совместного фонда *RVC IVFRT LP* объемом 40 млн долл. США путем привлечения ИВФ РТ в качестве нового инвестора (по 20 млн долл. от РВК и ИВФ РТ). Этот фонд образован на базе существовавшего фонда РВК *Russian Venture Capital II LP* [3].

В начале 2011 года общество с ограниченной ответственностью «Биофармацевтические инвестиции РВК» (Биофонд РВК) начало свою работу. Необходимость создания Биофонда РВК обусловлена низкой долей инновационных отечественных препаратов на российском фармацевтическом рынке, которая на сегодняшний день составляет менее 1%. Отсутствие инфраструктуры развития биофармацевтических и медицинских стартапов в России вынуждает расходовать значительную долю (50–80%) российских инвестиционных ресурсов на оплату зарубежных сервисов. Начальный размер уставного капитала: 500 млн руб., а планируемый размер уставного капитала 1,5 млрд руб. Биофонд предоставляет не более 75% от объема инвестиционной потребности сервисных компаний и не более 50% от объема инвестиционной потребности инновационных биофармацевтических компаний в денежной, имущественной формах, либо в виде прав на результаты интеллектуальной деятельности в сумме (эквиваленте) не более 100 млн руб. на первом раунде инвестирования.

24 января 2011 года общество с ограниченной ответственностью «Инфраструктурные инвестиции РВК» (Инфрафонд РВК) начало свою работу. Ключевой задачей Инфрафонда является развитие рынка специализированных сервисов и услуг, необходимых технологическим компаниям для эффективного ведения основной деятельности и ускоренного развития, продвижения продукции на внутреннем и внешнем рынках. Начальный размер уставного капитала: 500 млн руб. Планируемый размер уставного капитала – 2 млрд руб. Инфрафонд предоставляет не более 75% от объема инвестиционной потребности инфраструктурных компаний в денежной, имущественной формах, либо в виде прав на результаты интеллектуальной деятельности в сумме (эквиваленте) не более 100 млн руб. на первом раунде инвестирования.

Таблица 1

**Распределение инвестиций фондов с участием капитала ОАО «РВК»
по секторам экономики за 2007–2013 гг.**

| Сектор экономики | Доля инвестиций, % |
|---|--------------------|
| Информационные, интернет-технологии и сервисы | 27,46 |
| Консалтинг и образование | 2,18 |
| Биотехнологии, медицина и здравоохранение | 20,12 |
| Потребительский рынок | 2,84 |
| Промышленное оборудование | 6,51 |
| Промышленное производство | 0,79 |
| Строительство | 1,40 |
| Телекоммуникации | 8,28 |
| Транспорт | 0,21 |
| Финансовые услуги | 0,16 |
| Химические материалы | 8,38 |
| Электроника | 14,58 |
| Энергетика | 7,09 |

На начало 2013 года в России действует 22 региональных венчурных фонда инвестиций в малые предприятия в научно-технической сфере, созданных в 2006-2013 годах Минэкономразвития РФ совместно с администрациями регионов, общим объёмом 8,9 млрд руб. (табл. 1–3). Представители РВК входят в попечительские советы этих фондов [3].

Распределение инвестиций фондов с участием капитала ОАО «РВК» представлено в табл. 1, которая показывает, что 27,46% инвестиций направляется в сектор информационных, интернет-технологий и сервиса, одной из причин столь значительной доли участия капитала ОАО «РВК» является стремительные темпы развития информатизации общества, и как следствие 14,58% капитала направлены в сектор электроники, так как именно он обеспечивает практическую реализацию развития информатизации. На биотехнологии, медицину и здравоохранение ОАО «РВК» за период с 2007 по 2013 год инвестирует 20,12% капитала, это обусловлено приоритетом развития данного сектора экономики в России.

Следует отметить, что на модернизацию и технологическое развитие экономики за 2007–2012 года рассматриваемый фонд инвестирует 33,98% на стратегические компьютерные технологии и программное обеспечение, в связи высокими темпами информатизации России и 23,01% – на медицинскую технику и фармацевтику, по причине усиления воздействия на человека неблагоприятных факторов среды его обитания и условий жизнедеятельности, а также участвовавших случаев наступления чрезвычайных ситуаций, с целью повышения охраны здоровья населения [3].

При этом распределение инвестиций по регионам показывает, что 65,12% инвестиций сконцентрированы в г. Москва (табл. 2) [3]. Это свидетельствует о недостаточности структурированности инвестиционной поддержки регионов России, а следовательно, оказывает регрессирующее воздействие на инновационное развитие экономики.

Все зарубежные организации и фонды, действующие в России или имеющие специальные программы, связанные с российской научно-технической сферой, делятся на несколько типов в зависимости от формы собственности, организационно-правового статуса и источников финансирования:

а) по формам собственности организации можно разделить на три категории: фонды крупных научных обществ, государственные ассоциации, фонды – такие, как Королевское общество Великобритании, Национальный научный фонд США (ННФ), Фонд Александра фон Гумбольдта в Германии, также организации Европейского Союза, такие как ИНТАС и ТАСИС; Фонды, основанные крупными фирмами или компаниями (Фонд «Ротманс» в США, Фонд фирмы «Хитачи» в Японии); частные и благотворительные фонды, достаточно широко представленные в настоящее время в России (Фонд Джона Д. и Катерины Т. МакАртуров, Фонд Форда);

б) по организационно-правовому статусу организации могут быть фондами (Фонд МакАртуров, ИНТАС), ассоциациями (МНТЦ), государственно-частными партнерствами (*CRDF*);

в) в зависимости от источника средств фонды разделяются: на имеющие собственные средства (например, как результат пожертвования частного лица – Форда, Рокфеллера, Сороса) и получающие средства на проведение программ от других фондов и государственных структур, т.е. являющиеся своего рода посредниками. Например, АЙРЕКС имеет несколько каналов финансирования, получаемого как из частных источников (Корпорация Карнеги, различные университеты), так и из государственного бюджета (от Агентства США по международному развитию). Такие организации получили название «распределяющих средства» (*funded-driven organizations*).

С точки зрения национальной принадлежности наиболее широко известны в России американские программы и фонды, программы Европейского Союза, а также международные организации, представляющие интересы разных стран. Существует также большое число зарубежных фондов, не имеющих представительств в России, но реализующих программы под-

держки научных исследований, в которых могут участвовать российские ученые. Основная часть зарубежных фондов и организаций, осуществляющих свою деятельность в научно-технической сфере России, имеет американское происхождение – 34,3%; организации и фонды Великобритании – 14,7%; организации международных ассоциаций и Европейского Союза – 10,7%; Германии – 10,1%; Японии – 5,8% и Франции – 4,1% [3].

Таблица 2

Распределение инвестиций по регионам

| Наименование региона | Доля инвестиций, % |
|-----------------------|--------------------|
| USA | 14,78 |
| Австрия | 0,16 |
| Брянская область | 1,44 |
| г. Владивосток | 0,38 |
| г. Красноярск | 0,30 |
| г. Москва | 65,12 |
| г. Нижний Новгород | 2,06 |
| г. Пермь | 3,33 |
| г. Санкт Петербург | 4,40 |
| г. Томск | 1,57 |
| г. Хабаровск | 0,03 |
| Калужская область | 0,35 |
| Московская область | 0,51 |
| Нижегородская область | 0,95 |
| Республика Татарстан | 0,65 |
| Тульская область | 2,55 |
| Челябинская область | 0,94 |
| г. Ярославль | 0,21 |
| г. Саров | 0,20 |
| г. Невинномысск | 0,05 |

Подавляющее число фондов финансирует общественные, гуманитарные науки, а также социально значимые исследования (например, по экологии, медицине, сельскому хозяйству). Анализ тематики некоторых американских фондов, принимающих заявки от российских ученых, показывает, что 42% из них финансируют исследования по экологии, 32% поддерживают исследования в области социальных и гуманитарных наук, 13% финансируют исключительно политические исследования и столько же – исследования в области естественных наук. Естественно-научные исследования и коммерциализация результатов исследований и разработок поддерживаются в настоящее время преимущественно в рамках совместных проектов (по программам ИНТАС, МНТЦ, *CRDF*, *NWO*, в Седьмой рамочной программе Европейского Союза (*7FP*)). Так, в бюджете *CRDF* около 40% составляют контрактные работы по запросу Государственного департамента США (оценка заявок для МНТЦ), а также Департамента обороны США (логистика, организация мероприятий). Структура распределения инвестиций соответствует приоритетам стран, которые представляют фонды.

Крупнейшими спонсорами российской науки были три организации – МНТЦ, Международный научный фонд и ИНТАС. Международный научный фонд действовал только в течение четырех лет (1993–1996 гг.). При этом финансирование, выделенное за эти четыре года, до сих пор остается самым большим вкладом в поддержку российской науки, если сравнивать его с вложениями других организаций и фондов за аналогичные периоды времени.

Важнейший фактор, определяющий состояние научного потенциала, а в конечном итоге, результативность научной и научно-технической деятельности, является ее финансирование. Как показал представленный ранее анализ, во всех развитых странах проводится поощрительная политика в отношении национальной науки, включая систематическую поддержку из государственных бюджетов научных исследований и технологических разработок. Сегодня средства из федерального бюджета на финансирование науки выделяются на регулярной основе и практически без задержек. Государственной целевой финансовой поддержкой охвачены приоритетные направления развития науки и техники, НИОКР, выполняемые в рамках федеральных целевых программ. Вместе с тем, еще не все проблемы финансирования отечественной науки успешно решены. В Концепции долгосрочной стратегии до 2020 г. предусмотрен рост внутренних затрат на исследования и разработки до 3% ВВП.

Анализ статистических данных показал, что абсолютная величина внутренних затрат на исследования и разработки в России в 17 раз ниже, чем в США, в 7 раз – чем в Японии, в 3 раза – чем в Германии. Внутренние затраты на исследования и разработки в расчете на одного исследователя в России в 20-25 раз меньше, чем в развитых странах.

В настоящее время средства бюджета составляют около 60 % от объема финансирования внутренних затрат на исследования и разработки. Динамика финансирования науки из средств федерального бюджета все еще отстает от темпов роста макроэкономических показателей. Ассигнования на науку в целом в процентах к валовому внутреннему продукту в 2007 г. составили около 1 %, а на гражданскую науку – 0,34 %. На долю всей науки в расходах федерального бюджета в 2007г. приходилось 5 % (в 1995 г. – 3,25 %), а гражданской – 1,78 % (в 1995 г. – 1,6 %) [3].

Таким образом, несмотря на проведенную работу органов законодательной и исполнительной власти по формированию и развитию финансового обеспечения наукоемкой сферы деятельности в России, существует ряд задач, которые требуют скорейшего решения:

1. Разработка механизма финансирования науки, основанного на анализе сбалансированности структуры инвестиционных ресурсов и пропорциональности их распределения по секторам экономики и регионам РФ.
2. Разработаны системы инвестирования наукоемких проектов по видам деятельности, базирующейся на долгосрочных планах развития экономики РФ.
3. Разработка системы распределения инвестиций по направлениям модернизации и технологического развития экономики, обеспечивающей устойчивое развитие всех секторов экономики России.

Библиографический список

1. Федеральный закон РФ «О науке и государственной научно-технической политике» № 127-ФЗ от 23 августа 1996 г. (в ред. Федеральных законов от 19.07.1998 № 111-ФЗ, от 17.12.1998 № 189-ФЗ, от 03.01.2000 № 41-ФЗ, от 29.12.2000 № 168-ФЗ, с изм., внесенными Федеральными законами от 27.12.2000 № 150-ФЗ, от 30.12.2001 № 194-ФЗ, от 24.12.2002 № 176-ФЗ)
2. Инновационная Россия – 2020 (Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года), утверждена Минэкономразвития России в 2010 г. – 105 с.
3. **Яшин, С.Н.** Формирование механизма и технологии управления инновационной деятельностью предприятий региона: монография / С.Н. Яшин, Н.А. Мурашова; Нижегород. гос. техн. ун-т. им. Р. Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010. – 256 с.
4. **Яшин, С.Н.** Совершенствование методики оценки уровня инновационной активности промышленных предприятий на основе показателей статистической и финансовой отчетности / С.Н. Яшин, Н.А. Мурашова, С.Д. Карлина // Финансы и кредит. – М.: ООО «Издательский дом «Финансы и кредит», 2013 № 18 (546). С. 11–20.
5. **Яшин, С.Н.** Формирование стратегии инновационного развития предприятий металлургии

ческой сферы на основе оценки инновационной привлекательности / С.Н. Яшин, О.Р. Зубояров // Финансы и кредит. – М.: ООО «Издательский дом «Финансы и кредит», 2013 № 14 (542). С. 30-37.

*Дата поступления
в редакцию 05.06.2013*

S.N. Yashin, N.A. Murashova

FUNDING IS AN IMPORTANT FACTOR DETERMINING PERFORMANCE OF INNOVATION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Assessment of the impact of funding on the effectiveness of the innovation component of the Russian economy.

Methodology: The achievement of the objectives in the work is carried out using a systematic approach, the analysis of statistical data performance of the funds to support innovative projects.

The results and their application area: The result of the study is to validate the basic tasks of funding science, in increasing and improving the efficiency of innovation.

Conclusions: A significant increase in the activity and effectiveness of the innovation component of the Russian economy is associated with the development of science funding mechanism, based on an analysis of the structure of a balanced investment of resources in proportion to their distribution across sectors and regions of the Russian Federation.

Key words: investment resources, evaluation of the effectiveness of innovation, the amount of funding, government regulation, scientific and technical potential; budget.

УДК 316.6:378.1

Ю.И. Анашкин

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИЕЙ СТУДЕНТОВ - ПЕРВОКУРСНИКОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются основные аспекты адаптации студентов-первокурсников в техническом вузе. Обосновывается важность и необходимость системы управления адаптацией, её цели, задачи, структура, критерии оценки. Большое внимание уделено содержанию программы и технологиям адаптации студентов к вузовской жизни. Показаны основные результаты исследований процесса адаптации первокурсников в вузе.

Ключевые слова: адаптация первокурсников к вузовской жизни, аспекты адаптации, система управления адаптацией, её цели, задачи, критерии оценки, программа адаптации, технологии адаптации.

Ежегодно ряды студентов НГТУ пополняют студенты-первокурсники. И буквально с первых дней пребывания в техническом университете, они сталкиваются с новой системой обучения и требованиями, возросшей учебной нагрузкой, мало известной социальной средой, изменением привычного уклада жизни. Поэтому учёба в вузе и получение будущей специальности является весьма сложным и многоплановым процессом, который требует от первокурсников перестройки их жизнедеятельности, ломки «сложившихся стереотипов учебного поведения вчерашнего школьника» [2, С. 56].

Уже на этапе выбора вуза абитуриент связывает с ним реализацию определённых жизненных целей, своих потребностей и интересов. В соответствии с ними он выбирает будущую профессию, формирует определённые ожидания от организации учебного процесса, условий и содержания обучения в вузе. Как правило, этот выбор осознанный и связан с большими ожиданиями. Например, анализ анкетирования первокурсников приёма 2011, 2012 годов о мотивах выбора вуза показал, что практически каждый третий из них мечтал поступить именно в НГТУ. Практически половина из них (более 47%) считают выбранные специальности одними из самых престижных, и более 41% из числа опрошенных студентов связывает их с будущей работой.

Вуз также предъявляет требования к уровню подготовки студента- первокурсника, его желанию и умению получать знания и положительно воспринимать имеющиеся условия, соблюдать традиции, стандарты и нормы, правила поведения.

В ходе взаимодействия студента и организации (вуза) происходит их взаимное приспособление, протекает *процесс адаптации*. Это означает, что происходит включение студента-первокурсника в процесс учёбы и жизнедеятельности университета в соответствии с предъявляемыми требованиями. Причём, как отмечают специалисты, основным критерием отношения человека к происходящим в его жизни изменениям является перспектива, достижения поставленных целей, «возможность/невозможность реализации жизненно важных потребностей» [4, С.46]. Поэтому, уровень их удовлетворения у первокурсников, ожиданий от обучения зависит от того, как учебно-воспитательный процесс в вузе, условия жизнедеятельности студентов отвечают их запросам. Это является одним из основных показателей единства студентов и вуза.

Таким образом, *адаптацию* студентов - первокурсников к вузовской жизни мы можем определить как взаимное приспособление их и вуза друг к другу, которое сопровождается постепенным привыканием к новым учебным и организационным условиям деятельности, окружающей социальной среды и активное положительное действие в этой среде.

Чаще всего специалисты выделяют три взаимосвязанных аспекта адаптации: *профессиональный, психофизиологический и социально-психологический*. Отметим основное

содержание данных аспектов применительно к адаптации студентов первого курса к обучению в вузе.

Профессиональный аспект заключается в овладении умениями и навыками рациональной организации учебной деятельности (научиться учиться в вузе), развитии некоторых личностных качеств первокурсников, которые требует обучение. Например, целеустремлённость, трудолюбие, ответственность, дисциплинированность, внимательность.

Следует отметить, что первокурсник уже имеет определённую базу для учёбы в вузе. И объективными факторами успешности и скорости его профессиональной адаптации могут служить имеющиеся у него уровень подготовки и опыт учебной деятельности, который он получил в школе. Этот потенциальный уровень готовности выпускника школы к вузовской жизни служит основанием для полноценного включения первокурсников в учебный процесс. А субъективными факторами являются: отношение их к учёбе, ожидания, связанные с ней, потребность в овладении профессиональными знаниями.

Психофизиологический аспект связан с привыканием к условиям и режиму обучения. Вместо привычного школьного урока, на котором обычно давался небольшой по объёму фрагмент учебного материала, в университете студент сталкивается с лекциями, семинарами, лабораторными и практическими работами. Интенсивность и напряжённость учёбы в вузе значительно выше, чем в школе, также увеличена длительность учебных занятий по времени.

Основным объективным показателем динамики этого процесса является степень утомляемости студента, изменение интенсивности его деятельности во время учёбы, а субъективными показателями – оценка самого студента своего самочувствия, условий обучения, его сложности.

Социально-психологический аспект адаптации связан с включением первокурсника в систему взаимоотношений студенческого коллектива группы, факультета, института, освоением их традиций, норм, ценностей, правил и других элементов субкультуры, приобретением социальной роли и статуса, которые ему устанавливает группа. Причём это происходит с учётом собственных потребностей, стремлений и интересов студента. Именно понятие *взаимодействие* наиболее точно отражает особенности процесса *социально-психологической* адаптации и проявляется в выборе той или иной стратегии адаптивного поведения.

Динамику этого процесса определяют личностные свойства первокурсника, его темперамент, характер, стиль деятельности, уровень воспитания, притязаний и культуры.

Необходимо отметить, что для ряда первокурсников поступление в университет также связано с изменением места жительства, условий проживания, отрывом от семьи, в которой они выросли, изменением социально-психологического климата, определёнными материальными затратами. Например, в 2012 году в НГТУ поступили 292 (23.3%) студента из городов Нижегородской области, 219 (17.4%) из сельской местности, 145 (11.6%) до поступления проживали за пределами области. Поэтому 476 (38%) студентов первого курса проживают в общежитиях университета и снимают частное жильё.

Всё изложенное убедительно показывает, что успешная, эффективная, оптимальная адаптация первокурсников к жизни и учебе в вузе является залогом дальнейшего развития каждого студента как человека, гражданина, «становится определяющим звеном и важным этапом подготовки специалиста» [1, С. 106], основой его профессиональной компетентности.

Этим определяется исследовательский и практический интерес к изучению её разнообразных и противоречивых проблем, необходимость управления адаптацией, наличия единой системы инструментов воздействия, обеспечивающих её быстроту и успешность.

В университете сложилась и действует достаточно эффективная *система управления адаптацией первокурсников к студенческой жизни* (рис. 1). Она позволяет обеспечить вхождение первокурсников в студенческий коллектив, формирование навыков и умений учебной деятельности, оптимальный режим учёбы, досуга и быта.

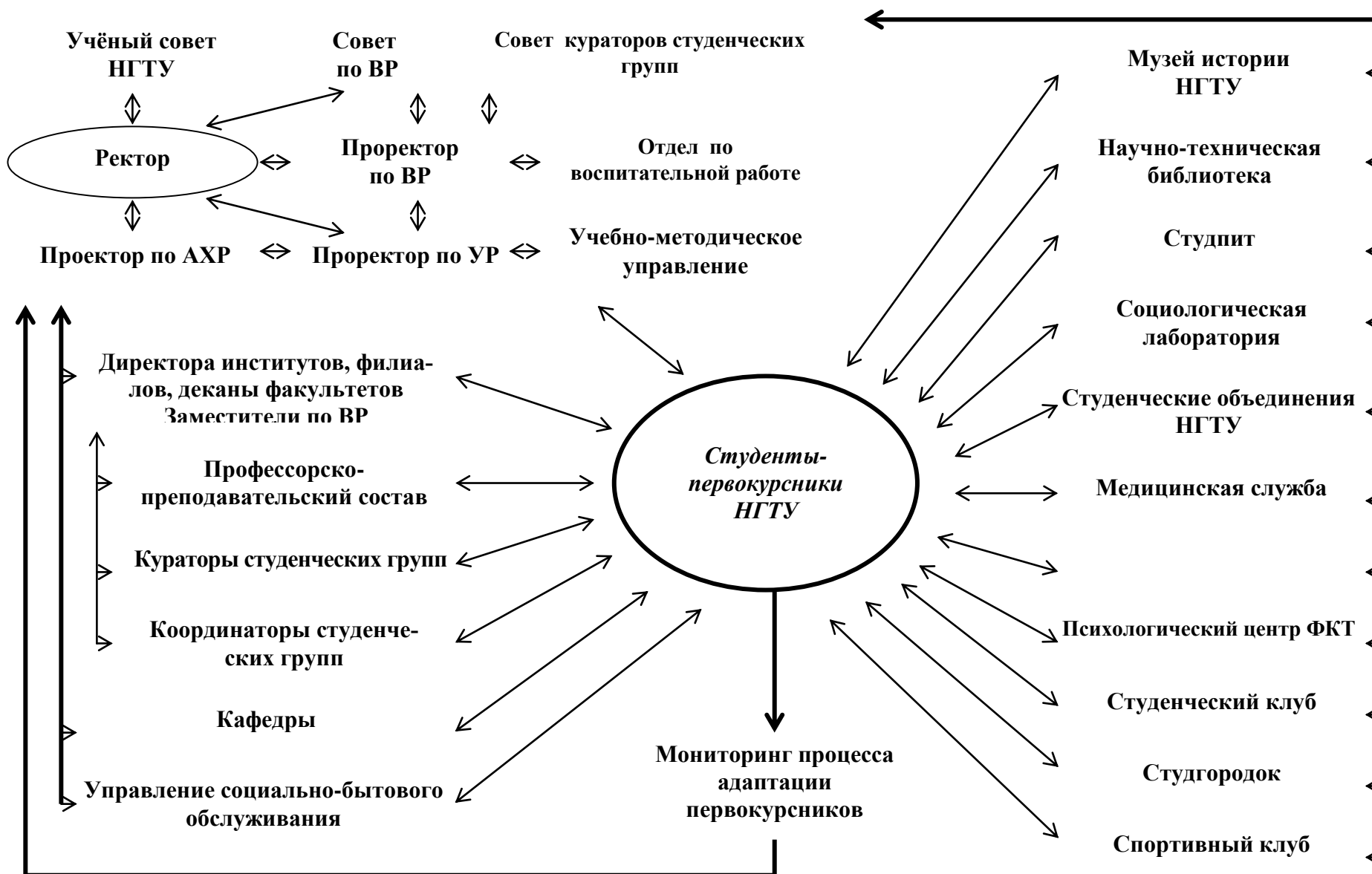


Рис. 1. Система управления адаптацией первокурсников в вузе

Эта система является составляющей системы управления вузом и предполагает:

- формирование целей, задач, функций и состава участников;
- структурное закрепление функций управления адаптацией в системе управления вузом;
- установление вертикальных и горизонтальных функциональных взаимосвязей участников процесса адаптации первокурсников;
- разработку инструментария управления адаптацией;
- мониторинг и при необходимости коррекцию процесса адаптации.

Систему управления адаптацией можно определить как *согласованное* по целям, времени, направлениям деятельности *взаимодействие* субъектов и объектов управления этой системы, которое основано на активном, дифференцированном по степени и формам их участия в реализации процесса адаптации первокурсников.

Субъектами управления выступают руководители и воспитатели, профессорско-преподавательский состав, кураторы, сотрудники управлений, отделов, служб университета, студенческие объединения, которые участвуют в процессе адаптации первокурсников.

Объектами управления являются студенты первого курса НГТУ, одновременно выступающие и как субъекты, так как они имеют, как правило, собственное мнение, позицию и оказывают определённое влияние на деятельность вуза.

На наш взгляд, *основной целью* этой системы управления является ускорение включения и привыкания первокурсников к процессу учёбы и жизнедеятельности в вузе, достижения его оптимального режима и обеспечения взаимного приспособления студентов и вуза (сделать процесс адаптации эффективным, более коротким и безболезненным).

К *основным задачам* системы управления адаптацией можно отнести следующие:

1. *Уменьшение стартовых издержек.* Так называемая «стартовая фаза» адаптации, по мнению исследователей, оказывает влияние на успех дальнейшей учёбы. Именно в начале обучения студенты не только получают общие сведения о своём вузе, но и формируют собственное отношение к нему, приобщаются к нормам, традициям вуза, к требованиям учебной и общественной работы. Важно отметить, что эта фаза адаптации не есть пассивное приспособление первокурсника к вузу, её не следует рассматривать и как процесс, сопровождаемый лишь трудностями и конфликтами. Начало учёбы в вузе – это радостное событие в жизни первокурсника, это целый этап формирования личности в новых условиях.

2. *Снижение тревожности и неуверенности.* В данном случае это означает боязнь провалов в учёбе и неполную ориентацию в сложившейся ситуации. С одной стороны, это нормальный страх перед новым и неизвестным, но с другой – фактор, который может привести к стрессам и их негативным последствиям.

3. *Формирование у первокурсников позитивного отношения* к своему институту, факультету, группе и к обучению, *развитие удовлетворенности учёбой* в вузе, *реализма в ожиданиях.* Это является непременным условием их высоких показателей.

4. *Экономия времени руководителей, преподавателей в ходе учебно-воспитательного процесса.* Первокурсники, которые недостаточно адаптировались к жизнедеятельности вуза, требуют значительно больше внимания, времени на помощь в процессе учёбы, при выполнении возложенных на них обязанностей.

5. *Сокращение числа отчисляемых студентов-первокурсников.* Общеизвестно, что наибольший отсев студентов происходит именно на первом курсе. Если первокурсники не смогли своевременно освоиться в вузе, то они могут испытывать большие трудности в ходе учебного процесса, усвоении материала, что, в конечном итоге, может привести к их отчислению.

Для наиболее быстрого и успешного прохождения адаптации первокурсниками в НГТУ разработана соответствующая *программа адаптации*, включающая комплекс организационных, специальных и тематических мероприятий, которые проводятся должностными лицами, преподавателями и студенческим активом в масштабе университета,

филиала, института (факультета), студенческой группы. К основным мероприятиям этой программы относятся:

Университетский уровень

- Обучение представителей институтов, филиалов, факультетов, кураторов и координаторов студенческих групп технологиям адаптации.
- Торжественное посвящение первокурсников в студенты НГТУ.
- Анкетирование первокурсников, обработка и анализ результатов.
- Посещение музея истории, галереи выпускников, выставки «Научные школы НГТУ».
- Проведение собраний первокурсников, проживающих в общежитиях (знакомство с правилами проживания, организацией студенческой жизни).
- Знакомство с научно-технической библиотекой НГТУ, правилами пользования.
- Встречи с представителями студенческих объединений, знакомство с организацией студенческого самоуправления в университете, проводимыми мероприятиями со студентами.
- Знакомство со студенческим клубом НГТУ, выявление творческих, талантливых студентов.
- Проведение диспансеризации первокурсников.
- Знакомство с работой санатория-профилактория НГТУ.
- Оказание психологической помощи первокурсникам.
- Выявление студентов-спортсменов, формирование спортивных секций.
- Проведение спартакиады первокурсников НГТУ.
- Анкетирование первокурсников о ходе адаптации к студенческой жизни.
- Мониторинг процесса адаптации первокурсников университета, разработка и реализация мер по устранению причин недостатков, улучшению управления процессом адаптации.

Уровень института, факультета

- Знакомство первокурсников с администрацией института (факультета), заведующими кафедрами, представителями студенческих объединений.
- Подбор кураторов, координаторов студенческих групп, их представление студентам.
- Торжественное вручение студенческих билетов первокурсникам.
- Общее представление НГТУ, института (факультета). Вручение путеводителя первокурсника.
- Организация дополнительных занятий по математике, физике, русскому и иностранному языку.
- Активные тренинги с первокурсниками, направленные на формирование навыков командного взаимодействия (верёвочный курс).
- Анализ успеваемости первокурсников по результатам 1 и 2 контрольных недель.
- Педагогическое сопровождение и оказание помощи первокурсникам.
- Мониторинг процесса адаптации первокурсников института (факультета), разработка и реализация мер по устранению причин недостатков, улучшению управления процессом адаптации.

Уровень студенческой группы

- Проведение кураторских часов (о правах и обязанностях студентов, правилах внутреннего распорядка, знакомство с основами организации учебного процесса в вузе).
- Формирование студенческого актива группы.

- Индивидуальные беседы с первокурсниками о ходе учёбы, адаптации к студенческой жизни, возникших проблемах.
- Организация мероприятий в группе.
- Обеспечение участия студентов группы в проводимых тематических и культурно-досуговых мероприятиях в НГТУ, в институтах (факультетах).
- Мониторинг процесса адаптации первокурсников группы, разработка и реализация мер по устранению причин недостатков, улучшению управления процессом адаптации.

Технологии адаптации первокурсников к студенческой жизни разрабатываются, внедряются и координируются в рамках вуза (рис. 2).

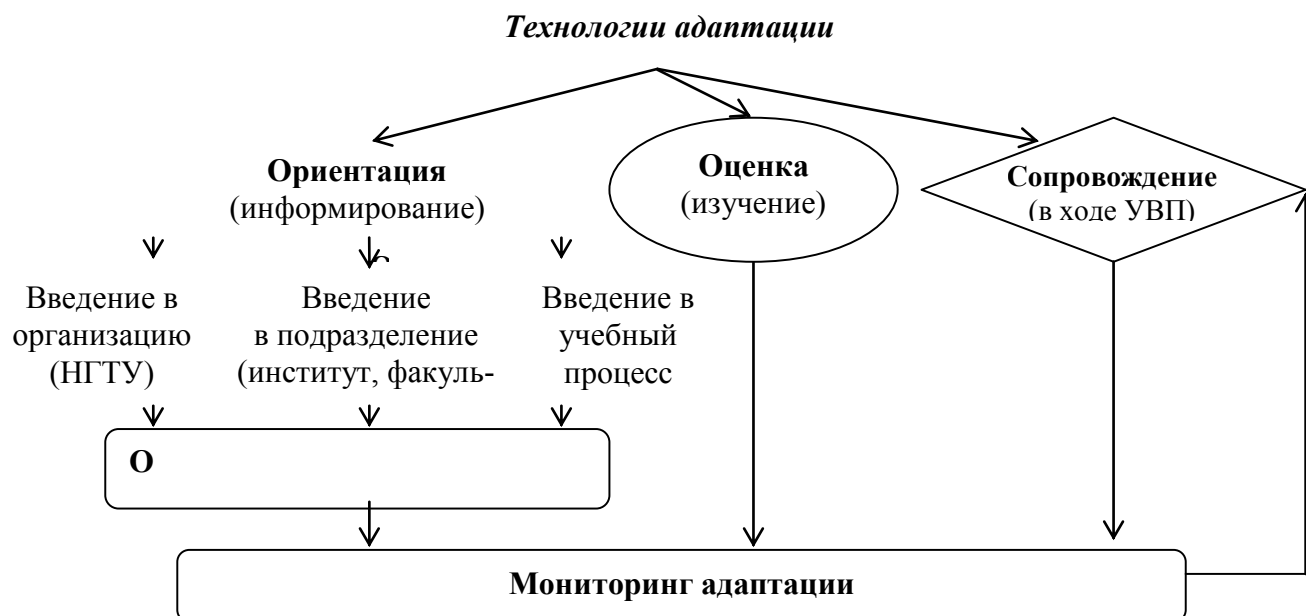


Рис. 2. Технологии адаптации первокурсников

Введение в организацию – это процесс ознакомления первокурсников с НГТУ, его миссией и целями, историей, традициями и нормами, организационной структурой, руководством, приоритетами деятельности, проблемами. Студенты также информируются о системе льгот в вузе, организации питания и быта, работе студенческих объединений, творческих студий и спортивных секций.

Введение в подразделение предполагает ознакомления первокурсников с институтом (факультетом), его целями, историей и традициями, структурой, администрацией и преподавателями, представителями студенческого актива. Разъясняется место подразделения в организационной структуре университета, организация работы внутри института (факультета), взаимоотношения с другими подразделениями. Проводится осмотр основных функциональных зон подразделения (входы, выходы, места оказания первой помощи и т.д.), инструктаж о правилах и мерах безопасности.

Введение в учебный процесс заключается в ознакомлении первокурсников с организацией обучения в вузе. Студенты информируются о расписании занятий, местах их проведения, правах и обязанностях, правилах внутреннего трудового распорядка, требованиях, которые к ним предъявляются со стороны вуза.

В 2012-2013 учебном году, с целью улучшения адаптации студентов к учебному процессу во всех институтах, факультетах НГТУ были проведены дополнительные занятия по математике, физике, химии, русскому и иностранному языку (в зависимости от профиля института, факультета). Затем был проведён опрос о целесообразности и эффективности их проведения по анкете, разработанной в учебно-методическом управлении НГТУ.

Анализ полученных результатов показал, что большинству студентов-первокурсников

из числа опрошенных (58.7%) были необходимы дополнительные занятия. Особенно «проблемным» предметом в вузе 47% студентов назвали математику (как раз по этой дисциплине проводились дополнительные занятия во всех институтах и на факультетах).

Практически треть, из числа опрошенных студентов (30%), отметили, что им пригодились полученные знания в ходе учёбы, 29.2% студентов – первокурсников поняли то, что раньше вызывало у них затруднение, 21.1% после проведения занятий более уверенно, по их мнению, стали воспринимать информацию.

После проведения *ориентации* (информирования) первокурсников проводится *оценка* усвоения ими полученной информации, делаются выводы об эффективности проведённой работы и принимаются соответствующие меры.

Традиционно, с первых дней учёбы в вузе начинается *изучение (оценка)* студентов - первокурсников. С этой целью используются индивидуальные беседы, наблюдение, анкетирование, тестирование, изучение документов, общение с родителями студентов.

Например, с целью изучения студентов первого курса набора 2012 года анкетирование проводилось силами кураторов студенческих групп, студенческого актива и заместителей директоров институтов, деканов факультетов по воспитательной работе по анкете, разработанной в отделе по воспитательной работе НГТУ. В нём приняли участие 1359 (86.8%) студентов первого курса технического университета.

Анализ результатов показал, что 32.7% первокурсников принимали участие в предметных олимпиадах, причём 15.2% первокурсников стали их призёрами, 14.5% – участвовали в факультативных занятиях и в работе научных кружков. До поступления в вуз 43.6% студентов активно участвовали в спортивных мероприятиях, 23.6% становились призёрами различных спортивных соревнований. И сейчас 35.3% первокурсников выражают желание принимать участие в работе спортивных секций, кружков, туристических клубов.

Наиболее распространёнными навыками, которыми обладают первокурсники, являются навыки программиста (24.9%), водителя (16.2%). Были выявлены и определённые творческие навыки. Из числа опрошенных студентов-первокурсников 16% имеют актёрские навыки, 12.1% – вокальные, 10.7% имеют хореографические и 3.4% режиссерские навыки. Владеют музыкальным инструментом 14.8% первокурсников.

До поступления в НГТУ 36.2% первокурсников активно участвовали в художественной самодеятельности и по результатам анкетирования 27.7% первокурсников хотели бы принять участие в студенческой самодеятельности, в работе творческих студиях университета.

Из числа опрошенных студентов, 24.4% считают, что обладают организаторскими навыками. До поступления в вуз принимали участие в работе совета старшеклассников 16.8% и органов школьного самоуправления – 15.8%. Первокурсники также выразили желание участвовать в работе студенческих объединений НГТУ (34.4%), студенческих СМИ (9.9%), студенческих отрядов (9.5%).

Наличие данных навыков и желания первокурсников участвовать в культурной, общественной, спортивной жизни и умелая организация работы с ними студенческого клуба, органов студенческого самоуправления, кафедры физического воспитания, спортивного клуба и организаторов воспитательной работы способствует дальнейшему развитию творческой деятельности в техническом университете, обогащению общественной жизни студентов, их дальнейшему развитию, самовыражению и самореализации.

Также, полученные результаты позволили составить социально-психологические портреты студенческих групп, были использованы при вовлечении студентов первого курса в социально одобряемую деятельность, корректировке мероприятий программы адаптации.

При *сопровождении* деятельности первокурсников в процессе адаптации важную роль играют профессорско-преподавательский состав, кураторы студенческих групп, заместители по воспитательной работе и студенческие координаторы. Именно они непосредственно работают со студентами, изучают их личностно-деловые качества, способности, организуют и проводят различные мероприятия, индивидуально – воспитательную работу, оказывают помощь на местах.

Для оценки процесса адаптации, эффективности системы управления адаптацией первокурсников в вузе, ожиданий студентов и руководителей от её реализации проводится её мониторинг. При этом используются субъективные и объективные критерии оценки [2, С. 58], показанные на рис. 3.

Оценка эффективности системы управления адаптацией в вузе

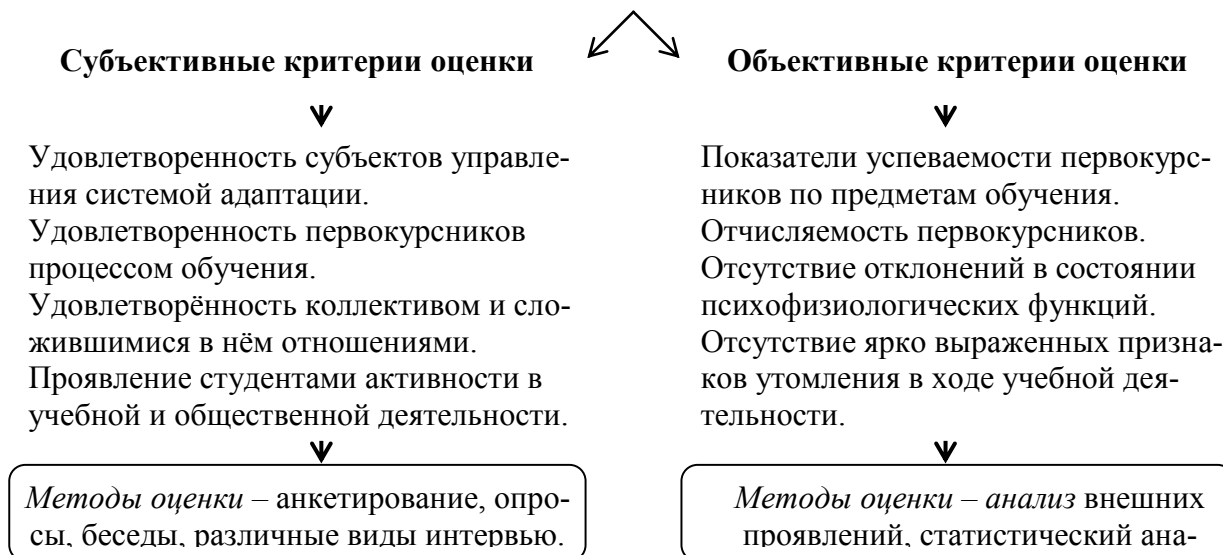


Рис. 3. Субъективные и объективные критерии оценки системы управления адаптацией первокурсников в вузе

Наиболее распространёнными методами являются анкетирование, тестирование, опросы, различные виды интервью, наблюдение, анализ успеваемости (по итогам контрольных недель, сессии) и поведения студентов, отзывы преподавателей и кураторов студенческих групп. Их комплексное применение, на наш взгляд, позволяет выявить основные проблемы, запросы, которые возникают в ходе адаптации студентов, сделать некоторые выводы и при необходимости своевременно принять необходимые меры по совершенствованию системы управления адаптацией студентов, внести соответствующие изменения, коррективы, востребованные сложившейся обстановкой, ситуацией.

С целью оценки процесса адаптации к вузу, эффективности системы управления им проводилось анонимное анкетирование студентов набора 2012 года через 2 месяца обучения. Оно осуществлялось силами студенческого актива (представителей всех студенческих объединений технического университета) по анкете, разработанной в отделе по воспитательной работе НГТУ. В нём приняли участие представители всех институтов и факультетов университета.

Анализ анкет показал, что у большинства студентов первого курса НГТУ (74.5%) сложились *хорошие впечатления от учёбы* в техническом университете. В вузе созданы условия для их эффективной работы. Им учиться сложно, но интересно, они получают много информации. Обучение проводят квалифицированные преподаватели.

Более 60% из числа опрошенных студентов устраивает *расписание занятий*. 70% участников анкетирования отметили, что им нравится работа *куратора* студенческой группы. Практически 65% опрошенных первокурсников положительно оценили работу *координаторов* органов студенческого самоуправления институтов, факультетов. Большинству опрошенных студентов (93%) нравятся *взаимоотношения*, которые сложились в группе, у многих (90.8%) *появились друзья* в своей студенческой группе.

Студенты-первокурсники отметили, что они информированы о проводимых во внеучебное время *мероприятиях* в НГТУ. Эти мероприятия востребованы и пользуются популярностью в студенческой среде.

Вместе с тем некоторые первокурсники отметили, что у них возникали *проблемы* по отдельным учебным дисциплинам, студенческой жизни. В каждом институте, на факультете они имеют определённую специфику, связаны с организацией обучения в конкретном подразделении и теми учебными дисциплинами, которые изучаются студентами в первом семестре. Наиболее общими из них являются:

- в расписании учебных занятий отдельные дни очень насыщены;
- проблемы во взаимоотношениях с преподавателями (указали 15.4% студентов);
- 35.2% студентов, из числа опрошенных, столкнулись с материальными проблемами;
- достаточно большое количество первокурсников (62.6%) не устраивает или цена, или качество питания в столовой и буфетах НГТУ.

В целом, по итогам анкетирования первокурсников, практически каждому четвёртому из опрошенных (24.2%) необходима *помощь*, для решения возникших проблем в учёбе и студенческой жизни. Более того, выявлено 17 студентов-первокурсников, которым необходимо обращение в психологический центр НГТУ, оказание психолого-педагогической помощи. Что ещё раз убедительно подчёркивает актуальность и необходимость управления процессом адаптации первокурсников.

Мы полагаем, что дальнейшее развитие и совершенствование системы управления адаптацией студентов-первокурсников к вузовской жизни позволит существенно повысить эффективность работы студентов с первых дней обучения в университете, будет способствовать их успешному обучению в вузе, формированию и развитию необходимых компетенций будущих специалистов.

Библиографический список

1. Жукова, Т.А. Социально-профессиональная адаптация студентов в системе университетского образования // Инновации в образовании. 2007. №1. С. 103–113.
2. Козлова, А.В. Адаптация студентов к информационно-коммуникационной образовательной среде вуза // Инновации в образовании. 2005. №7. С. 56–66.
3. Паршина, Т.О. Структурная модель социально-психологической адаптации человека // Социс. 2008. №8. С. 102.
4. Шустова, Н.Е. Социально-психологическая адаптация молодёжи и отношение к социальным нормам / Н.Е. Шустова, В.В. Гриценко // Психологический журнал. 2007. Т. 27. №1. С. 46–57.

Дата поступления
в редакцию 05.06.2013

Y. I. Anashkin

ADAPTATION MANAGEMENT SYSTEM OF FIRST YEAR STUDENTS

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R.E. Alekseev

Purpose: to analyze the diverse problems of freshmen's adaptation to student life and the necessity for process of adaptation, the availability of the impact tools system providing its success.

Methodology of work: monitoring of the first year students survey to identify the effectiveness of the adaptation control system.

Results and the field of their application: the above material and adaptation technology can be used in practical activities of the administration of the institutes and faculties, professors and curators of student's groups, the leaders of the student self-government bodies at the organization of the educational process with the freshmen.

Conclusions: proposals on improvement of adaptation management system will allow to improve significantly the performance of students from the first days of training and will promote the formation and development of the necessary competencies for the future professionals.

Key words: adaptation of freshmen to university life, aspects of adaptation, adaptation management system, its objectives, evaluation criteria, adaptation program, adaptation technology.

УДК 336.6

К.И. Колесов¹, А.С. Антонов²

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Филиал ОАО "МТС" МР "Поволжье"²

Цель: разработать модель внедрения риск-ориентированной системы внутреннего контроля (СВК) предприятия.

Методология: подходы и методы к управлению рисками, теория управления организацией на основе СВК, концептуальные основы внутреннего контроля COSO.

Результаты: проведен анализ нормативно-правовой базы и теоретических основ построения СВК на предприятии. Показана актуальность управления рисками на основе внедрения СВК. Описана модель развития и предложена схема формирования СВК в организации в соответствии с рекомендациями COSO. Результатом исследования является алгоритм построения риск-ориентированной СВК.

Выводы: на основании разработанного подхода к внедрению системы внутреннего контроля предложены методические аспекты управления рисками организации.

Ключевые слова: риск, система внутреннего контроля, закон SOX, методика COSO, управление рисками, материальность счета, существенность счета, риск искажения счета финансовой отчетности, балансовая единица.

Введение

Современное развитие экономики в России предопределяет необходимость построения качественной системы управления организацией. Одним из неотъемлемых элементов системы стратегического и оперативного управления является управление рисками. Переход от управления ресурсами к управлению знаниями, необходимость непрерывного изменения и информационного обеспечения для принятия управленческих решений предопределяет актуальность развития новых технологий управления, в том числе и разработки новых подходов к управлению рисками.

Для построения адекватной системы управления рисками руководство организации должно располагать учетной и контрольно-аналитической информацией. В числе вопросов, решаемых руководством в области управления рисками, наиболее важными являются определение величины риска, который организация готова принять в процессе своей деятельности, а также разработка управленческих методик воздействия на риск в зависимости от его оценочной величины. Одним из современных подходов к решению данных задач является формирование системы внутреннего контроля (СВК).

Внутренний контроль объединяет в себе контрольную среду, систему бухгалтерского учета и отдельные средства контроля, направленные на формирование достоверной финансовой отчетности. Эффективность СВК напрямую влияет на эффективность функционирования организации в целом. Оценка СВК позволяет определить, насколько достоверно финансовая отчетность предприятия отражает его реальное положение.

Таким образом, организация СВК может снизить финансовые риски компании путем их мониторинга, оценки, контроля и своевременного принятия управленческих решений. Анализ организации СВК предприятия и ее оценка становится особенно актуальной в условиях трансформирования российских стандартов бухгалтерского учета в соответствии с международными стандартами финансовой отчетности. Однако в существующей литературе недостаточно подробно описаны методические рекомендации управления рисками на основе СВК. Следовательно, описание методических аспектов управления рисками на основе внед-

рения СВК актуально и имеет теоретическое и практическое значение. Также актуальность исследования обусловлена появлением новых нормативно-правовых требований к предприятиям в части формирования системы внутреннего контроля.

Риск-ориентированный внутренний контроль

Можно выделить следующие основные типы внутренних рисков, присущих системе организации бизнес процессов, способных повлиять на достижение целей компании (рис. 1).



Рис. 1. Классификация внутренних рисков организации

Риском можно управлять, т.е. прогнозировать наступление рискового события и принимать меры к снижению степени риска. Одним из подходов к управлению рисками является внедрение интегрированной СВК. Внутренний контроль - процесс, инициируемый руководством организации, направленный на получение достаточной степени уверенности относительно достоверности финансовой отчетности в соответствии с общепринятыми принципами ее формирования для внешних пользователей, включая следующие:

- все операции и сделки компании должны быть соответствующим образом авторизованы;
- активы компании должны быть защищены от несанкционированного использования;
- все операции должны найти соответствующее отражение в учетных регистрах и финансовой отчетности.

Внутренний контроль направлен на получение информации относительно выполнения следующих задач:

- оценка эффективности и рациональности деятельности;
- оценка достоверности финансовой отчетности;
- соблюдение законов и нормативных актов.

Отсутствие СВК на предприятиях, чаще всего, обусловлено следующими причинами:

- отсутствие эффективного подхода к выявлению недостатков бизнес-процессов;
- отсутствие документально закреплённой методической базы к выявлению бизнес-рисков;
- недостаточное понимание руководством связи между внутренними процессами организации.

Внедрение СВК позволяет получить организации следующие преимущества:

- повышение капитализации компании за счет своевременного выявления и предупреждения рисков, влияющих на достижение поставленных операционных целей;
- повышение эффективности бизнес-процессов;
- установление связи целей и рисков во всей организации;
- стандартизация процесса принятия управленческих решений по ключевым рискам на основе стандартизированного и структурированного процесса управления рисками по всей компании;
- повышение ответственности руководства за управление бизнес-рисками;
- повышение уровня информативности принятия решений;
- предупреждение существенных рисков и снижение вероятности неожиданного возникновения неблагоприятных событий;
- повышение сохранности активов организации.

На российских предприятиях внедрение СВК до настоящего момента не имело широкого распространения. Влияние на распространение СВК в России оказала необходимость формирования данного функционала для предприятий, акции которых обращаются на американской фондовой бирже, в соответствии с 404 статьей закона Сарбейнс-Оксли (SOX). Также отправным этапом развития системы внутреннего контроля в российской практике послужило вступление в силу с 1 января 2013 года ФЗ «О бухгалтерском учете» № 402. Данный закон регламентировал обязательное формирование СВК. В соответствии с SOX на конец каждого отчетного периода директор должен подтвердить:

- достоверность финансовой отчетности;
- ответственность за разработку и поддержание процедур контроля над раскрытием информации и подготовкой финансовой отчетности;
- оценку СВК, сопровождающуюся подтверждением этой оценки аудитором.

Компанией Pricewaterhouse Coopers в соответствии с SOX была разработана пятиуровневая модель развития СВК (табл. 1).

Таблица 1

Модель развития системы внутреннего контроля

| Уровень | Характеристика СВК |
|-------------------|--|
| Оптимизированный | Контрольные процедуры скоординированы со стратегическими целями организации, с бизнес-процессами. Управление рисками и СВК действуют как одна интегрированная команда. Контрольные процедуры в значительной степени автоматизированы. Использование специального инструментария и технологий облегчает адаптацию к меняющимся обстоятельствам |
| Управляемый | Руководящие принципы описаны подробно. Осуществляется регулярный и доступный для анализа мониторинг выполнения контрольных процедур. Процедуры контроля постоянно адаптируются к изменению рисков и регулярно документируются. Риск-ориентированный подход к контролю, интеграция СВК и риск-менеджмента. Действует стандартизованный порядок документального оформления контрольных процедур. Уполномоченный по СВК координирует контрольные процедуры и осуществляет их мониторинг с помощью выборочных проверок |
| Стандартизованный | Установлены простые руководящие принципы, регулирующие работу системы внутреннего контроля. Среда контроля и бизнес-процессы (процедуры и механизмы контроля) документально оформлены. Процедуры контроля отслеживаются. Имеет место обмен опытом, процедуры контроля периодически адаптируются к изменению рисков |
| Неформальный | Действуют процедуры внутреннего контроля, однако они не стандартизированы. Процедуры контроля отслеживаются с трудом или не отслеживаются. Процедуры контроля в значительной степени зависят от отдельных сотрудников; в компании отсутствует обучение персонала и информационный обмен по вопросам контроля |
| Ненадежный | Действуют малочисленные процедуры внутреннего контроля или они полностью отсутствуют |

Алгоритм формирования риск-ориентированной СВК

По результатам анализа регламентирующей и методической документации представим схему формирования СВК (рис. 2).

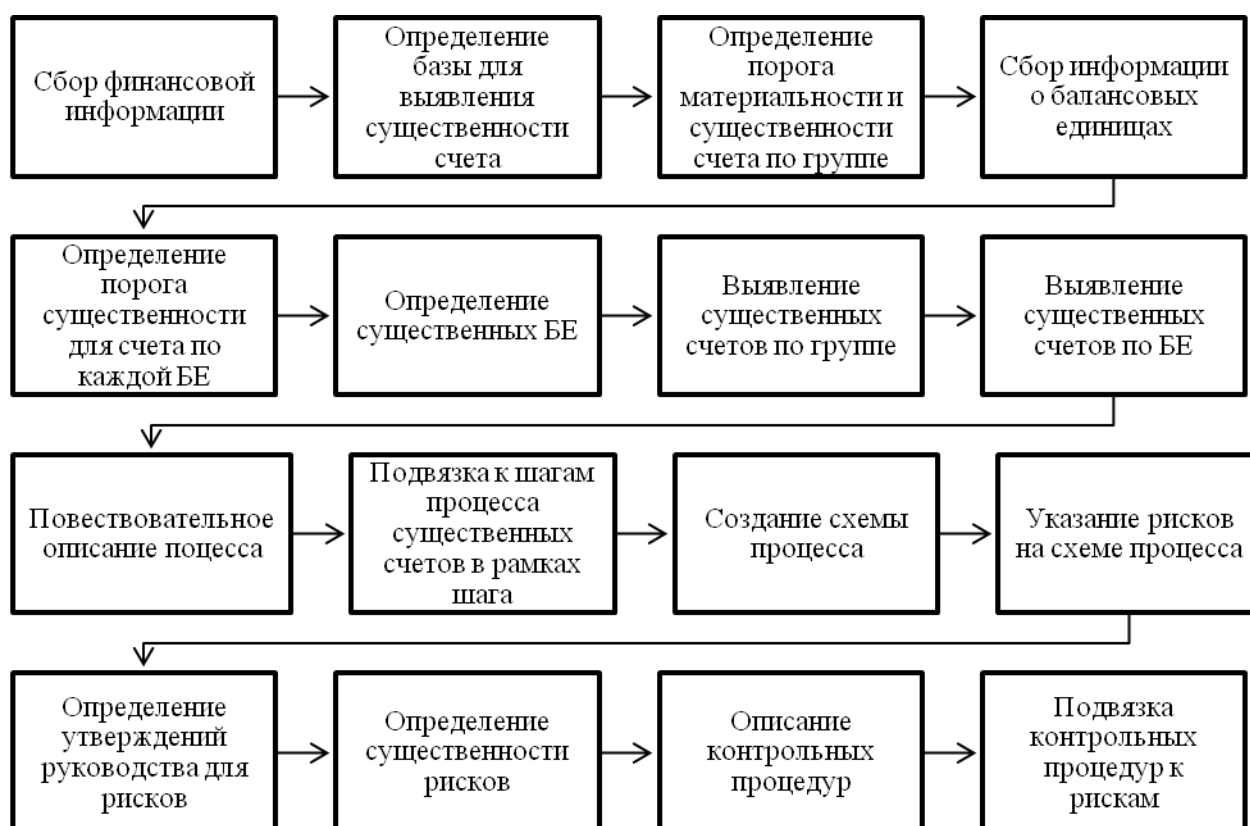


Рис. 2. Схема формирования СВК

В соответствии с представленной схемой приведем алгоритм формирования риск-ориентированной СВК в виде следующих этапов:

1. Определение объема работ.

Этап включает в себя определение существенных счетов, а также материальных балансовых единиц, в отношении которых должны быть оценены и задокументированы SOX-риски. На данном этапе предлагается произвести анализ и ранжирование счетов финансовой отчетности для определения тех из них, ошибки в которых могут повлиять на пользователя отчетности. Ранжирование основывается на количественной проверке счетов на основании любой из следующих оценок:

- оборот, структура и остатки счета;
- вероятность ошибки или мошенничества;
- количество активностей по счету;
- изменения в характеристиках счета и др.

Данный этап позволяет сузить объем проекта и не контролировать риски, связанные со счетами, которые не критичны с точки зрения SOX.

1.1. Определение уровней материальности и существенности.

При определении объема работ по развитию и поддержке СВК на текущий финансовый год предлагается использовать финансовую отчетность по US GAAP за последний отчетный год и бюджетные показатели на следующий отчетный год. В течение года показатели бюджета и ежеквартальной отчетности анализируются на предмет актуальности рассчитанных в

начале года уровней материальности и существенности. Наиболее приемлемой базой для расчёта материальности является прибыль/убыток до налогообложения. В случае, если деятельность компании в отчётный период убыточна, требуется использовать показатели операционного дохода до уплаты амортизационных отчислений и выручки. Если в рассматриваемый период показатели прибыли не отражают адекватно результаты деятельности компании (сложная макроэкономическая ситуация, иные единичные существенные события, влияющие на показатели деятельности компании только в указанном периоде), возможно рассмотрение балансовых показателей – капитал и общая стоимость активов.

1.2. Определение существенных счетов.

В целях выявления существенных счетов оценивается вероятность отражения в отчетности недостоверных данных. Уровень существенности позволяет установить ограничение величины совокупных искажений по индивидуальному счету и снизить риск необнаружения.

1.3. Установление взаимосвязи циклов/процессов с существенными счетами.

Следующий шаг при оценке объема работ – установление взаимосвязи между существенными счетами и процессами. Он применяется для подтверждения того, что все существенные процессы были выявлены и для всех существенных счетов определены формирующие их процессы. Для каждого существенного счёта отчетности требуется идентифицировать транзакции, в ходе которых создаются обороты/остатки по данному счёту и процессы, которые эти транзакции формируют.

1.4. Определение материальных балансовых единиц компании/дочерних компаний.

Для установления, какие объекты должны быть включены в оценку СВК, необходимо оценить соответствующую финансовую значимость балансовой единицы и риск существенного искажения данных, связанный с этой балансовой единицей.

Как правило, финансовая значимость БЕ оценивается на основании соответствующих финансовых показателей по отношению к показателям консолидированных финансовых отчетов. При этом, если БЕ является несущественной по финансовым показателям отчёта о прибылях и убытках, требуется оценить существенность по отдельным счетам финансовой отчетности. Если на этой стадии выявлены существенные счета, такие балансовые единицы должны быть признаны материальными. После определения материальных БЕ необходимо оценить, какие именно процессы будут рассматриваться на каждой материальной БЕ. Для этого по каждому существенному счёту отчетности определяются БЕ, которые необходимо включить в объём работ для обеспечения необходимого покрытия по данному счёту. Непокрытый остаток по каждому существенному счёту не должен превышать уровень существенности, рассчитанный ранее. Далее определяются существенные процессы по отношению к каждому счёту, существенному на уровне БЕ для подтверждения того, что все существенные циклы/процессы на уровне БЕ были выявлены и для всех существенных счетов были определены формирующие их процессы.

1.5. Определение необходимых для покрытия утверждений финансовой отчетности, соответствующих каждому счету и расшифровке.

Для каждого счета финансовой отчетности могут быть определены одно или несколько утверждений. Совокупность применимых для счета утверждений руководства формирует финансовые риски искажения, связанные с данным счетом.

2. Документирование СВК.

В ходе документирования СВК формируется описание всех процессов, влияющих на существенные счета финансовой отчетности, схемы процессов, матрицы рисков и контролей для каждого процесса. Результатом документирования является документация по СВК, позволяющая сделать вывод о полноте выявленных рисков и достаточности для их покрытия описанных контрольных процедур. За основу построения СВК предлагается воспользоваться интегрированной моделью внутреннего контроля, предложенной Комитетом спонсорских организаций Комиссии Трэдуэй (COSO). На этапе описания бизнес процессов производится формализация связи между существенными счетами, хозяйственными операциями и процессами. Как только

становятся понятны процессы, в которых изменяются существенные счета, то далее описываются детальные функции процесса, последовательность их выполнения, документы по процессу и ответственные за исполнение функций. Наиболее эффективно использование специализированных систем по описанию бизнес-процессов, с помощью которых возможно представление процесса в удобном виде для анализа полноты и рискованности.

2.1. Повествовательное описание процесса.

На данном этапе предлагается задокументировать описание процесса, определить его границы, описать шаги процесса и их исполнителей, а также определить документооборот в рамках процесса. Этап заключается в документировании шагов процесса, сбора документальных подтверждений его исполнения, создании схемы процесса с привязанными к шагам возможными рисками, заполнении таблицы рисков и покрывающих риски в своей части контрольных процедур. Данный этап позволяет представить детальную схему протекания процесса, на основании которой можно в полной степени выявить все возможные риски, присутствующие процессу и его недостатки. Основной задачей создания схемы SOX-процесса является выявление рисков и их наглядное представление.

2.2. Определение рисков SOX.

На данном этапе предлагается определить риски, которые могут быть реализованы при исполнении каждой функции процесса и которые влияют на достоверность финансовой отчетности. Процедура идентификация рисков требует участия экспертов по процессу и применения специальных методик. Этап заключается в идентификации всех рисков, возможных на каждой стадии процесса, описании данных рисков и создании матрицы, содержащей все риски, присутствующие каждому процессу предприятия. Данный этап позволяет на основании единой матрицы отследить непокрытые риски и произвести работу над выявленными недостатками.

2.3. Оценка существенности риска.

На данном этапе риски оцениваются по их значимости (например, по величине наносимого ущерба) и вероятности искажения. При оценке вероятности следует принимать во внимание следующие факторы:

- возможные манипуляции, связанные с методом признания выручки;
- имеются основания полагать, что руководство компании осуществляет операции не в соответствии со стандартными процедурами;
- имеет место внесистемная обработка операций;
- необычные, сложные операции либо события;
- существенный объем операций со связанными сторонами;
- имеют место проводки, основанные на субъективных оценках;
- особенные риски, связанные с ценностью и ликвидностью;
- изменения в процессах, системах, участвующих в инициировании, совершении, учете операций, формировании отчетности;
- большое количество проводок непосредственно в главной книге в конце периода;
- выявленные индикаторы возможного мошенничества.

В случае, если риск связан с несколькими статьями отчетности, для каждой из статей определяется максимально возможная сумма искажения. Далее оценивается эффект исходя из рассчитанного уровня существенности и материальности.

2.4. Документирование контрольных процедур.

Данный этап заключается в документировании контролей, направленных на покрытие выявленных рисков, и позволяет выяснить, какие действия производятся в рамках исполнения контрольной процедуры, покрывают ли контрольные процедуры в полной степени выявленные риски и, в случае обнаружения недостатков, произвести работу над ними.

3. Оценка эффективности полученных результатов.

В рамках данного этапа формируется и выполняется система тестов, задача которых проверить правильность осуществления контрольных процедур в компании. Результаты данного этапа являются входной информацией для совершенствования контрольных процедур и

системы внутреннего контроля в целом. Существуют четыре основных метода тестирования: опрос, наблюдение, проверка и повторное выполнение. При тестировании контролей, покрывающих наиболее существенные риски, необходимо применять несколько методов тестирования, что позволит повысить степень уверенности в результатах тестирования.

Выводы

Проведен анализ нормативно-правовой базы и теоретических основ построения СВК на предприятии. На базе данного анализа показана актуальность управления рисками на основе внедрения СВК. Описана модель развития СВК как методический аспект управления финансовыми рисками в организации и предложена схема его формирования в соответствии с рекомендациями COSO. Согласно данной схеме разработан алгоритм построения риск-ориентированной СВК. Предложенный алгоритм позволил сформулировать методические аспекты управления рисками на основе СВК.

Библиографический список

1. Федеральный закон "О бухгалтерском учете" № 402-ФЗ от 06.12.2011 [Электронный ресурс]: [http://base.consultant.ru/cons/cgi/onlibe.cgi?red=doc;base=LAW\\$n122855](http://base.consultant.ru/cons/cgi/onlibe.cgi?red=doc;base=LAW$n122855)
2. **Ваганова, А.С.** Управление рисками промышленного предприятия на основе концепции риск-контроллинга: монография / А. С. Ваганова, И. Б. Гусева. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2011. – 215 с.
3. **Колесов, К.И.** Анализ финансовой отчетности предприятия: учеб. пособие / К.И. Колесов, А.С. Узбекова. – Н. Новгород: НГТУ им Р.Е, Алексеева, 2012. – 245 с.
4. **Колесов, К.И.** Методологические аспекты стратегического контроллинга на основе многоуровневого подхода: монография / К.И. Колесов, А.Ф. Плеханова. – Н. Новгород: НГТУ им Р.Е, Алексеева, 2010. – 134 с.

*Дата поступления
в редакцию 16.07.2013*

K.I. Kolesov, A.S. Antonov

METHODICAL ASPECTS OF RISK MANAGEMENT BASED ON INTRODUCTION OF INTERNAL CONTROL SYSTEM

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpos: To develop a model for the introduction of risk-oriented internal control system of the enterprise.

Methodology: Approaches and methods of risk management, the theory of management of the organization on the basis of internal control system, conceptual bases of internal control by COSO

The results: The analysis of normative-legal and theoretical bases of construction of the internal control system at the enterprise. Relevance of risk management based on introduction of internal control system. The model of development of internal control system is described. The scheme of formation of the internal control system in accordance with the recommendations of the COSO. The result of research is an algorithm for constructing a risk-oriented internal control system.

Conclusions: On the basis of the developed approach to introduction of internal control system methodical aspects of risk management of the organization are offered.

Key words: risk, internal control system, law SOX, COSO technique, risk management, materiality of the account, importance of the account, risk of distortion of the account of financial statements, balance unit.

СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 159.9

С.Н. Сорокоумова, В.П. Исаев

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НРАВСТВЕННОГО СОЗНАНИЯ У БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ СОЦИОНОМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Раскрываются сущностные характеристики духовно-нравственного сознания в современной психологии. Представлены структура и уровни развития основных компонентов психологической структуры духовно-нравственного сознания применительно к социэкономическим специальностям.

Ключевые слова: духовно-нравственное развитие, структура духовного и нравственного сознания, социэкономические профессии, студент.

Нравственное сознание является неотъемлемой частью человеческой личности, а также частью общего сознания личности. «Сознание – высший уровень психического отражения и саморегуляции, присущий только человеку как общественно-историческому существу. Эмпирически сознание выступает как непрерывно меняющаяся совокупность чувственных и умственных образов, непосредственно предстающих перед субъектом в его «внутреннем опыте» и предвосхищающих его практическую деятельность» [1]. «Сознание человека – это сформированная в процессе общественной жизни высшая форма психического отражения действительности в виде обобщенной и субъективной модели окружающего мира в форме словесных понятий и чувственных образов» [2].

Функция общего сознания состоит в том, что оно удостоверяет личность в действительном присутствии в настоящем бытия. Функция нравственного сознания состоит в том, что оно выражает отношение личности к осуществляемым ею самой процессам ориентации, самоопределения и участия в общем универсуме бытия. Нравственное сознание формируется в процессе взаимодействия личности с социально-культурной средой, и является отражением общественного бытия. Оно содержит в себе исторически изменяющиеся нравственные отношения, представляющие собой субъективную сторону морали. В основе нравственного сознания находится категория нравственности. Нравственность представляет собой совокупность общих принципов поведения людей по отношению друг к другу и обществу. Так, словарь С.И. Ожегова дает следующее определение: «Нравственность - внутренние, духовные качества, которыми руководствуется человек, этические нормы; правила поведения, определяемые этими качествами». Толковый словарь С.А. Кузнецова дает два определения нравственности: «Внутренние (духовные и душевные) качества человека, основанные на идеалах добра, справедливости, долга, чести и т.п., которые проявляются в отношении к людям и природе. Человек высокой, безупречной нравственности. Развитие нравственности. Требования нравственности. Слабые, жалкие представления о нравственности. Упадок нравственности; и совокупность норм, правил поведения человека в обществе и природе, определяемые этими качествами. Законы, кодекс, нормы нравственности» [3].

Одним из ведущих исследователей нравственного сознания Л.Н. Антиловой дано следующее определение: «... нравственное сознание является интегральным личностным образованием, представленным эмоционально-чувственной, рациональной и волевой сферами, формирующимся под влиянием внешних (социокультурных) и внутренних (психических) факторов и проявляющимся в поведении, деятельности и отношениях человека с другими людьми» [4]. Удачное, на наш взгляд, определение дано психологами Р.В. Овчаровой и Э.Р. Гизатуллиной: «Нравственность – интегральное, психологическое образование, включающее совокупность общечеловеческих ценностей и убеждений, чувств и переживаний, мотивов, потребностей и поступков личности на основе свободного выбора» [5]. Отличное от других определение нравственности дает А.Г. Круглов (Абелев): «Нравственность (во всех языках производное от «нравы» (мораль от лат. «mores» - нравы) – рефлекторная подчиненность индивида сложившимся «нравам», общим привычкам поведения, позволяющая обществу индивидов как-то выживать и функционировать» [6]. «...Нравственность - ценностная структура сознания, общественно необходимый способ регуляции действий человека во всех сферах жизни, включая труд, быт и отношение к окружающей среде. В широком смысле слова нравственность - особая форма общественного сознания и вид общественных отношений; в узком смысле - совокупность принципов и норм поведения людей по отношению друг к другу и обществу...» [7]. По мнению Л.И. Божович, нравственные убеждения являются частью мировоззрения личности и представляют собой «устойчивую, обобщенную систему взглядов на мораль» [8]. Нравственность зачастую выступает синонимом морали, как совокупности норм и правил поведения, выработанных обществом. Большинство исследователей не различают этих понятий. Так, Большой Энциклопедический словарь Д.Н. Ушакова, В.И. Даля полностью идентифицирует понятия нравственности и морали [9]. В.В. Знаков отмечает, что в большинстве этических учений нравственность отождествляют с моралью: «Нравственность – понятие, являющееся синонимом морали...» [10]. А.Г. Круглов (Абелев) говорит о том, что в человеческой психике существуют два моральных начала: коллективный - социальный (стадийный) инстинкт; жалость, сострадательность, способность сочувствовать [6]. М. Бекофф – ученый зоолог, находит факты, подтверждающие развитие представлений о справедливости и моральных основ среди животных, что косвенно подтверждает стадийный инстинкт, как моральное начало. Так, ученый приводит пример: «... в игре псовые с самого раннего возраста обучаются социальным кодексам поведения. Приглашая друг друга порезвиться, они принимают игровую позу: передние лапы лежат на земле, задние стоят. Даже если эта поза сопровождается агрессивными действиями, такими, как рычание и оскалывание зубов, поза не оставляет сомнений в игривых намерениях собаки. Во время игры доминирующие члены стаи будут давать возможность более слабым товарищам поменяться ролями, позволяя им опрокинуть себя на спину и стать ненадолго царем горы. Если один из «игроков» прихватит другого зубами чересчур сильно, он сразу же извинится, снова приняв игровую позу» [11].

Таким же основам социального поведения, основанного на усвоении норм и запретов, учится ребенок в ходе игровой деятельности, перенося в игру подсмотренные, подмеченные особенности взаимодействия людей в различных социальных ситуациях. Моральная шкала в понимании Б.С. Братуся, «включает в себя не только положительные, но и отрицательные с общественной точки зрения ценности...», говоря об аморальности «речь идет не просто об отрицании морали, а о моральной позиции, нам чуждой, извращенной» [12]. В.В. Знаков пишет: «...нравственные представления и поведение людей могут расходиться. С этической точки зрения, некоторые поступки (обман, безответственность, беспринципность) являются моральными. Субъект может нарушать моральные нормы, не понимая, в чем состоит его моральный долг перед людьми, при этом часто подыскивая убедительные, по его мнению, психологические оправдания своего поступка» [10]. Такой моральный поступок, как утверждает В.В. Знаков, неправомерно считать нравственным; о последнем может идти речь только в том случае, если человек осознает вину и раскаивается за содеянное им.

Возможно, ближе к истине подошли К. Роджерс и А. Маслоу, которые в рамках гуманистической теории личности, говорят о том, что человек от природы нравственен, анти-моральное возможно только оттого, что у человека возникает разлад между «реальным Я» и «идеальным Я», когда высшие потребности блокируются и ограничиваются низшими. То есть, конфликт потребностей между нравственным сознанием личности и невозможностью удовлетворять низшие (физические) потребности, исповедуя данную систему нравственных принципов. Отчасти, это объясняется тем, что мы стараемся, растить наших детей, привив им с детства представления об идеальных «добре и зле», воспитывая на образцах классической литературы, в которых «добро всегда побеждает зло». Вырастая, человек сталкивается с градациями «добра и зла», и с тем, что добро не всегда одерживает верх. Взрослея личность осознает свою оригинальность и исключительность, оценивает себя в категориях самооценки и в этом оценочном осознании своего «я» переживает характер своей самобытности, и корректирует свою систему нравственных принципов.

Таким образом, нравственное сознание является одним из самых глубоких и самых интимных проявлений личности. Когда личность, осознавая понятия «добра и зла», договаривается со своим внутренним – Я, о корректировке собственных нравственных принципов [13]. Психодинамическая теория З. Фрейда рассматривает личность как состоящую из трёх уровней: ид («оно»), эго («я») и суперэго («сверх-я»). Ид – главная структура личности, образуемая бессознательными побуждениями (влечениями, инстинктами, прежде всего, сексуальными и агрессивными) и функционирующая в соответствии с принципом удовольствия. Эго – совокупность осознаваемых познавательных и регуляторных функций психики. Эта структура, по Фрейду, призвана обслуживать ид и функционирует по принципу реальности, выступая ареной борьбы между ид и суперэго. Последнее суть структура, содержащая представления о морали, о нормах, ценностях, установках общества, в котором живёт человек.

В отечественной литературе разграничиваются понятия морали и нравственности.

«Вместе с тем для многих исследователей очевидно, – отмечает В.В. Знаков – что нужно различать мораль как форму общественного сознания (систему норм, требований к правилам поведения в межличностных отношениях, предъявляемых человеку обществом) и нравственность как характеристику психологической структуры личности (отвергающей или принимающей эти требования, осознающей их необходимость и испытывающей внутреннюю потребность в исполнении моральных норм, следовании им)» [10]. Суть морали состоит в предписании или запрещении конкретных действий и поступков. Мораль имеет социально-общественный характер; она определяется социальными причинами, а потому всегда частична и относится к определенной группе (социальной, национальной, религиозной и пр.). Мораль поощряет одни нормы поведения и осуждает другие. Соблюдение этих норм предполагает определенную награду, которая имеет вполне реальные формы: от похвалы и уважения окружающих до материальных и других благ. Моральное поведение побуждается стремлением соответствовать некоторому образцу. Нравственное поведение самодостаточно и не предполагает каких-либо внешних наград. Человек осуществляет те или иные поступки не для того, чтобы его похвалили, а потому что по-другому не может. Нравственный поступок всегда носит осознанный характер и формирует нравственную позицию личности, как отмечает Б.С. Братусь: «...совокупность основных отношений к миру, к людям и себе, задаваемых динамическими смысловыми системами, образуют в своем единстве... свойственную человеку нравственную позицию. Такая позиция особенно прочна, когда становится сознательной...» [12].

Нельзя совершить добрый поступок ненароком, случайно. Мотив поведения, а не только и не столько его внешний результат становится объектом нравственной оценки. Человек поступает так, потому что не может иначе или потому что мучает совесть. «Но всякий носитель нравственного сознания осознает, что он совершает поступок свободно, то есть исходя из внутренних моральных побуждений, а не из соображений выгоды, чувства страха, вызванного внешней угрозой, или из тщеславного желания заслужить одобрение окружаю-

щих» [14]. Рассматривая духовно-нравственное сознание, остановимся на понятии «духовность». В отечественной психологии проблема духовности и нравственности получила освещение в работах классиков отечественной психологии (К.А.Абульханова-Славская, Г.В.Акопов, Б.Г.Ананьев, Е.В.Бондаревская, Б.С.Братусь, А.В.Брушлинский, Ф.Е.Василюк, М.И.Воловикова, Л.С.Выготский, В.А.Елисеев, В.В.Знаков, Е.И.Исаев, Д.А.Леонтьев, В.Н.Мясищев, В.В.Рыжов, С.Л.Рубинштейн, В.И.Слободчиков, Д.Н.Узнадзе, В.Д.Шадриков и др.). Духовность не относится к понятиям, имеющим закрепленный категориальный статус в психологических словарях и энциклопедиях, хотя ее использование в текстах по психологии личности представлено достаточно широко. «Традиционно и наиболее часто духовность определяется как состояние, относимое к Богу, вере, душе человека и отражающее все его умственные, нравственные силы и волю» [15]. Базовое понимание духовности существует в православии, где духовность человека тесно связана с его нравственностью.

Рассматривая духовность в православии, мы не можем обойти такое понятие, как «вера». По этому поводу нам очень близки рассуждения Н.В. Марьясовой. Она пишет: «Вера – несомненный психологический факт, предпосылка осуществления, необходимая поддержка, условие любой сложноорганизованной человеческой активности». И далее рассуждает о том, что любое задуманное человеком действие осуществляется с верой в успех. «Человеку необходимо наличие целостного образа будущего, который поддерживается и живет в нем, с которым у него эмоциональная, теплая связь, в который (и иного слова не подобрать) он верит, часто несмотря на колебания, ослабление воли или разумные доводы, призывающие повременить или вовсе прекратить деятельность» [16]. «Вера – это отнюдь не только религиозный феномен, как продолжают думать воспитанные атеизмом психологи. Механизмом, усилием веры поддерживается и эмоционально притягивается, прилепляется к сердцу, запечатлевается образ, существование и осуществление которого лишь, возможно, вероятно, но который через свою наглядно-чувственную представленность сознанию нереализованное в действительности делает субъективно реальным, осязаемым, недостижимое, видимо, достижимым, будущее – настоящим, по жизни сопутствующим, греющим и ведущим. Вера при этом имеет, конечно, внешние, отмечаемые другими признаки ее присутствия в человеке, но ее бытие, наличие, очевидность – внутри. ... и если смыслы деятельности порождаются отношением мотива к цели, то смыслы жизни порождаются живым образом будущего, освещающим и животворящим настоящее или отношением образа веры к наличному состоянию человека. Очень похоже и с верой религиозной. В основе ее также восстановление в себе путеводного Образа, никогда не могущего быть до конца доказанным ... смысл зависит от веры, и потеря ее способна обесмысливать бытие». Веру поэтому нельзя заполучить извне, нельзя передать наставлением или примером. Она тесно связана со смыслообразованием [16]. В.П. Зинченко дает следующее определение духовности: «Духовностью называют поиск, практическую деятельность, опыт, посредством которых субъект осуществляет в самом себе преобразование, необходимое для достижения истины, для самоопределения» [17].

Психологическим основанием духовности являются «специфические функции смысловых образований как основные конституирующие единицы сознания личности». «Духовность выражает, прежде всего, нравственные, справедливые начала общественной жизни, свободу мысли, моральные нормы поведения в обществе, примат добра над злом» - пишет А.А. Андрушкевич [18]. Духовность человека есть его способность различать и выбирать истинные нравственные ценности и подчинять им свои поступки, поведение, способ жизни. Б.С. Братусь пишет: «Духовное начало человека связано с общественным и творчески-созидательным характером его жизнедеятельности, с включенностью человека в мир культуры...». В психологическом плане «...духовность характеризуется понятиями разума и мышления, миром человеческих идей и созерцаний, такими эмоционально-волевыми свойствами и состояниями, как доброта, любовь, раскаяние, смирение. С общественной точки зрения она представляет собой идеальный комплекс норм, которые выступают по отношению к субъекту и обществу не как данность, а как заданность и непреложный императив»

[12]. Р.Л. Лившиц: «Духовность есть такая смысложизненная позиция личности в мире, которой человек открывает себя миру, а также другому человеку как единичному носителю родовой человеческой сущности. Духовность заключена в устремленности к социально-позитивным, гуманистическим ценностям. В ней происходит развитие родовой сущности человека» [19]. П.В. Симонов трактует духовность как качество личности, которое может быть реализовано только в плане отношения личности к другим людям, связывает духовность с ценностями альтруизма, бескорыстием и самоотречением [20]. Н.В. Марьясова обращает внимание на то, что «большинство определений духовности подменяется характеристикой личности – носительницы духовных качеств, отмечается широта взглядов, эрудиция, культура, доброта, искренность, теплота, открытость, пишется, что духовность не совместима с черствостью, эгоизмом, ориентацией на материальные ценности, по существу». Н.В. Марьясова обращает внимание на то, что «...с житейской (светской) точки зрения различие душевной и духовной жизни в их качественном своеобразии отражается уже на уровне языка. Когда мы говорим «душевный человек», то тем самым указываем на присущие ему качества сердечности, открытости, способности сопереживать другому, способности понимать и учитывать другого в его самооценности... Духовность человека проявляется в его потребности и способности познавать мир и созидать новые формы общественной жизни». «...Духовность в жизни человека проявляет себя системой отношений человека к миру, в которой ведущими смыслами выступают Высшие Духовные ценности: польза человечеству, альтруизм, движение к Богу, позволяющие субъекту создавать специфически осмысленный текст своего бытия (Образ Мира)». «Духовность является важным личностным образованием, которое выступает незаменимым фактором, определяющим процесс становления личности, и может рассматриваться как сущностное свойство человека, выполняющее такие функции как ориентировочная, направляющая, смыслообразующая» [16].

В.Д. Шадриков отмечает: «У нас есть все основания в качестве ведущей действующей силы становления человечности рассматривать духовность». Источниками ее возникновения автор считает – развитие мозга, развитие интеллекта, формирование сознания, и целый ряд других факторов. Но центральным, главным источником духовности, по его мнению, является осознание себя и своих отношений с другими людьми, а уже через это (и посредством этого) – осознание добра и зла, осознание выгоды и отказ от нее во имя блага другого [21]. Иное понимание источников духовности представлено в позиции Архиепископа Луки, который, опираясь на большой эмпирический опыт, полагает, что духовные свойства передаются по наследству от родителей к детям. Говоря о наследственности именно духовных свойств, а не душевных, он делал акцент на том, что наследуются, только основные черты характера, их нравственное направление, склонность к добру или злу, высшие способности ума, чувства и воли, но никогда не наследуются воспоминания о жизни родителей, их чувственные или органические восприятия, их частные мысли и чувства [22].

Духовно-нравственное сознание, носит всегда ценностный характер. То есть любой помысел и действие личности, соотносится с некой внутренней абсолютной системой мерой справедливости, «добра и зла». Ценности и ценностные ориентации в качестве основных элементов нравственного сознания, рассматривали Л.С. Рубинштейн, Л.И. Божович, Б.С. Братусь и др. Так пишет Б.С. Братусь: «Ценности личности, ... это осознанные и принятые человеком общие смыслы его жизни. Подлинная ценность должна быть всегда обеспечена «золотым запасом» соответствующего личностного смысла, аффективного, эмоционально-переживаемого отношения к жизни. В противном случае она девальвируется до уровня простой декларации ...» [12]. Среди «личностных ценностей» ученый выделяет нравственные принципы и идеалы, которые объединяются в целостные смысловые образования и выполняют регулирующую функцию в непосредственной деятельности человека, а также составляют основу направленности личности.

В.Г. Федотова определяет духовное как ценностное содержание сознания, как уровень психической жизни, опосредованный волей и сознанием [23]. «Содержанием ценностно-

ориентационной подструктуры нравственного сознания личности, - по мнению Е.Е. Соловцовой, - выступают мотивы и убеждения человека в необходимости нравственных норм поведения, представления о целесообразности конкретных нравственных правил и норм, устойчивый идеал поведения, ориентация на нравственное поведение как на ценность и в соответствии с этим на ценностные установки по отношению к миру, людям, опосредованные через нравственный опыт» [24]. И.М. Ильичева отмечает: «Ценностные ориентации обеспечивают саморегуляцию деятельности человека, заключающуюся в его способности сознательно решать стоящие перед ним задачи, осуществлять свободный выбор поступков, утверждать своей деятельностью те или иные социально-нравственные ценности». Нравственное сознание, согласно автору, является частью целостного сознания и отличается совокупностью черт: «способностью отражать объективную действительность под императивно-оценочным углом зрения; способностью определенным образом относиться к отражаемым событиям, явлениям, поступкам и связанными с этим переживаниями человека, проявляющимися в различных нравственных чувствах; способностью к самопознанию (рефлексивностью), итогом чего становится обоснование человеком своей моральной позиции; способностью к целеполаганию, под которым подразумевается в морально-эстетическом аспекте свободный выбор субъектом своих действий на основе сравнительной оценки вариантов возможных целей; способностью посредством языка обеспечивать коммуникацию людей, сохранять и передавать новым поколениям накопленный моральный опыт [25].

Нравственному сознанию, как и сознанию в целом, присущ ряд общих функций: познавательная, оценочная, регулятивная и другие. Ученые выделяют разные компоненты в структуре нравственного сознания. Рассмотрим применительно к нашему исследованию различные точки зрения на психологическую структуру нравственного сознания. Б.С. Братусь рассматривает функции смысловых образований нравственного сознания: «Во-первых это создание образа, эскиза будущего, той перспективы развития личности, которая не вытекает прямо из наличной, сегодняшней ситуации... Другая важнейшая функция заключена в следующем: любая деятельность человека может оцениваться и регулироваться со стороны ее успешности в достижении тех или иных целей и со стороны ее нравственной оценки» [12].

А.И. Титаренко в качестве центрального элемента нравственного сознания выделяет ценности и ценностные ориентации, так как они наиболее адекватно отражают суть данного феномена [26]. Также считает и Л.Н. Антилогова «ценности и ценностные ориентации могут быть представлены как базовые элементы нравственного сознания, связывающие воедино не только элементы теоретического нравственного сознания, но и обыденного, поскольку граница между этим двумя уровнями очень подвижна, и такие структурные элементы, как оценки и нормы, а также и сами ценности могут складываться как стихийно (на уровне обыденного сознания), так и вырабатываться сознательно (на теоретическом уровне в систематической и логически доказательной форме)» [4]. Н.Г. Капустина выделяет следующие функции нравственно-этического сознания: мировоззренческую, которая заключается в познании нравственных отношений между членами общности; аксиологическую - в оценке различных нравственных феноменов, исходя из собственных критериев; прагматическую - в самопрограммировании и саморегуляции деятельности; проективную; оценочную и регулятивную обеспечивает нравственную самоориентацию и нравственную самоидентификацию социального субъекта [27]. На основе предыдущего опыта субъект прогнозирует и проектирует свою деятельность и деятельность окружающих. И.М. Ильичева, пишет: «Ядром нравственного сознания являются нравственные убеждения, нравственные ценности, ценностные ориентации, содержанием – нравственные качества, нравственные способности, нравственные потребности и мотивы» [25]. Э.Н. Ольшевская отмечает, что на сегодняшний день не сложилось единое мнение относительно структуры нравственного сознания. Несмотря на это, можно выделить общие структурные компоненты, объединяющие различные подходы к определению структуры нравственного сознания: когнитивный, эмоциональный и поведенческий компоненты [28]. Когнитивный компонент – включает нравственные представления,

знания, понятия, принципы, суждения, ценности, осознание личностью собственных моральных качеств и нравственных представлений; эмоциональный компонент – предполагает положительное или отрицательное чувство к объекту, эмоционально-ценностное отношение к нормам морали, отношение к себе (включая самоуважение), моральную самооценку, эмоциональную оценку межличностных отношений и поведенческий компонент – содержит готовность к определенному образу действий, личную ответственность за поведение.

А.И. Титаренко пишет, что структура нравственного сознания, согласно «это не только система уровней, но это целостность, где все взаимосвязано и где каждый элемент получает смысл лишь в особой связи с другими элементами» [26]. Согласно Л.Н. Антиловой, ядром нравственного сознания являются нравственные убеждения и ценности, ценностные ориентации, содержанием – нравственные качества и способности, нравственные потребности и мотивы (направленность, значимость, активность, знаковость, установка, волевые свойства, рефлексивность). По мнению автора, нравственное сознание, как и сознание в целом, представляет собой сложную многоуровневую и полиструктурную систему. Исследователь выделяет в структуре нравственного сознания два связанных между собой уровня: обыденный (нравственные нормы, оценки, обычаи отражающие повседневные отношения между людьми) и теоретический (нравственные понятия, концепции отражающие глобальные нравственные проблемы).

На обыденном уровне люди оперируют в основном эмпирически воспринимаемыми данностями и оказываются неспособными постичь глубину и сущность тех или иных явлений общественной жизни. Обыденный уровень нравственного сознания можно определить как представленный в виде нравственных норм, оценок, обычаев способ освоения мира, отражающий будничные, изо дня в день повторяющиеся отношения между людьми. К этому уровню относятся следующие структурные компоненты: обычай, традиция, нравственная норма, нравственная оценка. Теоретический уровень нравственного сознания – уровень, представленный в виде нравственных понятий, концепций способ освоения мира, отражающий глобальные нравственные проблемы. Его составляют нравственные ценности. Нравственная ценность – интегральное образование нравственного сознания, тесно связанное с мотивами и потребностями индивида, обеспечивающее направленность его сознания на достижение высших нравственных целей, выполняющее функции оценивания, регулирования поведения человека на основе категорий добра и зла, включающее в себя нравственные нормы, оценки, понятия, принципы, идеалы.

Итак, нравственное сознание может быть представлено двумя уровнями: обыденным и теоретическим, границы между которыми подвижны, так что отдельные структурные элементы (нормы, оценки, понятия) могут функционировать на обоих уровнях. Интегративным началом, объединяющим все элементы воедино, выступают ценности и ценностные ориентации. Теоретическому уровню нравственного сознания присуща большая абстрактность понятий. Братусь Б.С. подробно рассматривает ценностно-смысловые образования личности, лежащие в основе нравственного сознания. Ученый выделяет следующие уровни смысловой сферы: 0 уровень – прагматический; 1 уровень – эгоцентрический; 2 уровень – группоцентрический и 3 уровень – просоциальный, «...подлинно просоциальный уровень характеризуется внутренней смысловой устремленностью человека на создание таких продуктов его труда, деятельности, общения, познания, которые принесут благо другим, даже лично не знакомым людям, обществу в целом» [12]. 16-факторная структура морального сознания личности, предложена И.Г. Дубовым, А.А. Хвостовым и представляет собой результат эмпирического изучения критериев, с помощью которых сознание оценивает определенную область реальности и их содержательной интерпретации. В 13 и 16 факторах, так же, как и в 10 содержится «универсальная справедливость». Семантика данных факторов размыта. По существу, выявленная 16-факторная структура является описанием обыденного морального сознания. Названные 16 смыслов являются основными векторами общественной морали, ха-

рактерной для нашей культуры. С опорой на них размышляют люди о нравственности, по обозначенным ими критериям оценивают свои и чужие поступки [29].

Учитывая изложенное, мы предлагаем к рассмотрению следующие компоненты психологической структуры, применительно к проблеме развития духовно-нравственного сознания у студентов социономических профессий: наличие широкого спектра человеческих знаний; позитивные характеристики я – образа, я – концепции и особенности социально-профессиональной рефлексии. Будущий психолог, согласно классификации Е.А. Климова, относится к профессии типа «человек-человек», т.е. социономической профессии и предполагает постоянную работу с людьми, постоянное общение и взаимодействие в ходе профессиональной деятельности. Профессия данного типа связана с психологической поддержкой, помощью и сопровождением.

Деятельность практического психолога предполагает наличие определенных склонностей, способностей и профессионально значимых качеств. Среди общих склонностей можно выделить: позитивное восприятие мира, альтруистическую направленность, желание работать с людьми и для них, умение слушать и слышать собеседника, а также самому ясно и последовательно излагать свои мысли, умение знакомиться и общаться с новыми людьми, а также желание и склонность организовывать деятельность других людей и т.д. Среди профессионально значимых качеств можно отметить: сензитивность, внимательность, эмоциональную устойчивость, толерантность, гибкость, эмпатию, наблюдательность, быстроту принятия решений, организаторские и коммуникативные способности.



Рис. 1. Компоненты психологической структуры духовно-нравственного сознания будущих специалистов социономических профессий

Наличие широкого спектра человековедческих знаний подразумевает не только освоение индивидом психолого-педагогических основ, но и знание духовно-нравственного наследия своей страны, знание культуры и этики отношений.

Позитивные характеристики я-образа и я-концепции являются основанием веры, как условия любой сложноорганизованной деятельности.

Особенности социально-профессиональной рефлексии. Любая профессиональная деятельность, для ее успешной реализации, подразумевает наличие определенных способностей и качеств, требующих развития. Профессиональная деятельность, в свою очередь, накладывает отпечаток на формирование мировоззрения и ценностной системы, как центрального элемента нравственного сознания [30].

Таким образом, изучение структурных компонентов нравственного сознания позволяет организовывать систему целенаправленного воздействия, которая обеспечит достижение высокого уровня развития духовно-нравственного профессионально ориентированного сознания студентов социономического профиля.

Библиографический список

1. Краткий психологический словарь / под общ. ред. А.В. Петровского, М.Г. Ярошевского. – Ростов н/Д.: Феникс, 1999. – 354 с.
2. **Щербатых, Ю.В.** Общая психология: учеб. пособие / Ю.В. Щербатых. – СПб.: Питер-Пресс, 2008. – 272 с.
3. Большой толковый словарь русского языка / гл. ред. С.А. Кузнецов. – СПб.: Норинт, 2002. – 1536 с.
4. **Антилогова, Л.Н.** Психологические механизмы развития нравственного сознания личности: дисс. ... д-ра психол. наук: 19.00.01 / Антилогова Л.Н. – Новосибирск, 1999. – 434 с.
5. **Овчарова, Р.В.** Психологическая структура нравственной сферы личности подростка / Р.В. Овчарова, Э.Р. Гизатуллина // Педагогическое образование в России. 2011. №3. С. 103-108.
6. **Круглов, (Абелев) А.Г.** Психологии нравственности: этика злых и этика добрых. 2010. <http://alkruglov.narod.ru/malgood.html>
7. Распоряжение префекта ЮВАО г. Москвы от 27.12.№2764 «Об окружной целевой программе «Духовно-нравственное воспитание и развитие детей и молодежи в юго-восточном административном округе Москвы» на 2008–2010 гг.».
8. **Божович, Л.И.** Проблемы формирования личности: избранные психологические труды / под ред. Д.И. Фельдштейна. – Москва; Воронеж: Ин-т практической психологии, Воронеж: НПО «МОДЭК», 1997. – 352 с.
9. **Ушаков, Д.Н.** Большой Энциклопедический словарь / Д.Н. Ушаков, В.И. Даль. – М.: Изд-во: dicView. 2000. – 1000 с.
10. **Знаков, В.В.** Понимание субъектом правды о моральном поступке другого человека: нормативная этика и психология нравственного сознания // Психологический журнал. 1993. № 1. С. 32–43.
11. **Бекофф, М.** Эмоциональная жизнь животных. The Emotional Lives of Animals: [перевод У.Гончаровой] / М. Бекофф. – М.: ИГ «Весь», 2010. – 208 с.
12. **Братусь, Б.С.** Нравственное сознание личности (Психологическое исследование) / Б.С. Братусь. – М.: Знание, 1985. – 64 с.
13. **Фрейд, З.** Психология бессознательного: сб. произведений / З. Фрейд; сост., науч. ред. М.Г. Ярошевский. – М.: Просвещение, 1989. – 448 с.
14. **Данилова, В.А.** Возрастной подход к формированию самосознания // Инновации общего профессионального образования: сб. науч. тр. – Челябинск, 2006. С.112-115.
15. Современная философия: Словарь и хрестоматия. – Ростов н/Д.: Феникс, 1995. С. 142-143.
16. **Марьясова, Н.В.** Духовность в жизни человека: учеб. пособие / Н.В. Марьясова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 116 с.
17. Большой психологический словарь / под ред. Б.Г. Мещерякова, В.П. Зинченко. – СПб.: Прайм–Еврознак. М.: Олма-Пресс, 2003. – 672 с.
18. **Андрушкевич, А.А.** Духовно-нравственное и нервно-психическое здоровье: медико-психологические аспекты диагностики, восстановления и формирования / А.А. Андрушкевич. – Н. Новгород, 2001. – 279 с.
19. **Лившиц, Р.Л.** Духовность и бездуховность личности / Р.Л. Лившиц. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. – 152 с.
20. **Симонов, П.В.** Происхождение духовности / П.В. Симонов, П.М. Ершов, Ю.П. Вяземский. – М.: Наука, 1989. – 352 с.
21. **Шадриков, В.Д.** Происхождение человечности: учеб. пособие для высших учебных заведений / В.Д. Шадриков. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2001. – 296 с.
22. **Архиепископ Лука (Войно-Ясенецкий).** Дух, душа и тело. М.: Издание Православного Свято-Тихоновского богословского института, 1997.
23. **Федотова, В.Г.** Духовное и душевное // Философские науки. 1988. № 7. С. 50–58.
24. **Соловцова, И.А.** Законы духовной жизни человека как основа духовного воспитания // Проблемы духовного воспитания: Гуманитарно-целостный подход: материалы «круглого стола», 20 октября 2005 г. / сост. И.А. Соловцова; под ред. Н.М. Борытко. – Волгоград: ТЦ «ОПТИМ», 2006. С. 5-10.
25. **Ильичева, И.М.** Психология духовности: дисс. ... д-ра психол. наук: 19.00.01 / Ильичева И.М. – СПб., 2003. – 450 с.

26. **Титаренко, А.И.** Структуры нравственного сознания: Опыт этико-философского исследования / А.И. Титаренко. – М.: Мысль, 1974. – 278 с.
27. **Капустина, Н.Г.** Этическое сознание младших школьников // Плюс до и после. 2006. №3. С. 1–7.
28. **Ольшевская, Э.Н.** Психологическое содержание когнитивного и эмоционального компонентов морального сознания личности студента // Ярославский педагогический вестник. 2009. № 3. С. 148–151.
29. **Дубов, И.Г.** Моральная детерминация поведения в обыденном сознании больших групп населения / И.Г. Дубов, А.А. Хвостов // Вопросы психологии. 2000. №5. С. 87–102.
30. **Сорокоумова, С.Н.** К проблеме развития духовно-нравственных ценностей личности / С.Н. Сорокоумова, В.П. Исаев // Известия Самарского научного центра РАН. Т 15. № 2 (3). 2013.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

S.N. Sorokoumova, V.P. Isaev

**THE PSYCHOLOGICAL STRUCTURE OF THE MORAL CONSCIOUSNESS
OF THE FUTURE SPECIALISTS SOCIONOMIC PROFILE**

Nizhny Novgorod state university of architecture and civil engineering

Purpose: This article attempts to trace the genesis of the formation of the structure of the spiritual and moral consciousness professionals socionomic profile. Particular attention is given to the author's concept of spiritual and moral consciousness. Reveals the essential characteristics of the spiritual and moral consciousness in modern psychology. The structure and level of development of the main components of the psychological structure of the spiritual and moral conscience in relation to socionomic specialties.

Design/methodology/approach: Conceptual article ideas based on the interdependence of the domestic theory of personality and professional competence of future specialists socionomic profile.

Findings. The structure and components of the spiritual and moral consciousness are applied to socionomic specialties.

Research limitations/implications: The results can be taken into account in the professional orientation of students helping professions.

Originality/value: Different approaches to the specific spiritual and moral consciousness are necessary for the development of professional competencies for students socionomic profile.

Key words: spiritual and moral development, the structure of the spiritual and moral consciousness, values socionomic profession, student.

УДК 1/14

В.В. Терентьев

**«ОПРАВДАНИЕ МИРА» КАК ПРОБЛЕМА СОЦИАЛЬНОЙ ОНТОЛОГИИ
(НА ПРИМЕРЕ РАБОТ Н.А. БЕРДЯЕВА)**

ООО «Экспресс»

Представлены содержание и смысловой диапазон концепций «оправдания мира» на примере русской социальной онтологии конца XIX – начала XX веков. Обращаясь к духовному опыту религиозной метафизики Н.А. Бердяева, автор делает предметом анализа те аспекты их учений, которые актуальны с точки зрения духовного преображения современной России.

Ключевые слова: религиозная философия, социальная метафизика, оправдание мира, общественный идеал.

Оправдание мира, обоснование его, пусть относительной, ценности, а также утверждение значительности человеческого служения в миру, его предназначения и даже «призванности» – одна из важнейших идей русской религиозной философии начала XX века. Значимость данной проблемы обострена в современных условиях «псевдореальности» матричного существования, перед лицом кризиса современного социального развития, не в последнюю очередь связанного с невозможностью разрешения данных вопросов на метафизическом уровне. В связи с этим представляется актуальным обращение к опыту русской социальной онтологии конца XIX века, в котором мы находим обширную и достаточно разработанную традицию метафизики Всеединства и возникшей на её основе софиологии. Одним из наиболее ярких представителей данной традиции является известный русский мыслитель Н.А. Бердяев, концепция которого представляет наибольший интерес с точки зрения рассматриваемой нами проблемы.

Рассматриваемая нами проблема едва ли может быть разрешена с рациональной точки зрения. Оправдание мира в его относительности, с его явными несовершенствами, грехами – есть дело не философского доказательства (оно не может быть выведено), но религиозного умознания: Мир Божий есть не выводимая ни из чего первоначальная интуиция. Интуиция эта возгорается в душе человека, который начинает искать ей оправдания, а затем уже объясняет ее. Н.А. Бердяев отмечал: «Проблема религиозного оправдания «мира» не может быть даже поставлена христианским сознанием, верным заветам Христа. Никакие сделки с «миром» религиозно невозможны. В откровении Нового Завета это слишком ясно. Всякое оправдание «мира» и «мирского» есть компромисс с грехом, ибо «мир» не есть подлинное бытие, «мир» есть падшее бытие, и его не должно смешивать с божественным космосом. «Мир» – тень света. Мир-космос божественен всей своей множественностью; «мир сей» есть выпадение из божественной жизни» [1, с. 385]. Следует иметь в виду, что проблема выработки христианского отношения к миру особенно остро стоит именно для православного сознания (и для настоящего времени ничуть не менее, чем для Бердяева); католическая и протестантская ветви христианства однозначно определили и в своей истории утвердили активное отношение к миру, «вовлеченность» в мирские дела, положительное призвание в нем. Однако для православного сознания все не так однозначно и ясно как в католичестве и протестантизме; многочисленные упреки к этим ветвям христианства в принятии ими, например, соблазна власти, искушения царства кесаря, имели под собой существенные основания, объяснимые лишь в контексте фундаментальной проблемы об истинном отношении «Града Божьего» и «града человеческого» (в терминологии св. Августина). В рамках русской религиозной философии вообще любое социальное, политическое явление должно быть обосновано

и, если это будет возможно, оправдано в контексте христианского сознания и христианского отношения к миру.

Мир принимается и оправдывается Н.А. Бердяевым в Духе, примат которого есть фундаментальный принцип его философии. Он неоднократно утверждал, что реальность Духа не может быть доказана и не требует доказательств: если «Я» живет духовной жизнью, если ему открывается эта реальность – реальность Духа – то ничего большего просто не требуется. Все возможные доказательства реальности Духа исходят из неправомерной аналогии с ее реальностью совсем другого порядка – с бытием; бытие же и Дух являются реальностями различными не только по модусу своего существования, но – по существу. Натурализация Духа, – как это называет философ, – болезнь застарелая в христианском сознании, как раз впервые и открывшем саму духовную реальность, она восходит к Блаженному Августину и к Фоме Аквинату. Бердяев писал: «Реальность духа засвидетельствована всем опытом человечества, всей его высшей жизнью. Отрицание этой реальности есть слепота и глухота к реальностям, есть неспособность к различению качеств бытия или неспособность к описанию того, что различено. Дух по-иному реален, чем мир природных вещей. Эта реальность не доказывается, а показывается теми, которые способны к различению качеств. Реальность духа стоит вне категориального мышления, накладывающего свою печать на «бытие». Неточно было бы сказать, что дух есть бытие. Дух есть свобода, дух есть творчество. Духу принадлежит примат над бытием, ибо примат принадлежит свободе. Мирозерцание, ориентированное онтологически, статично, мирозерцание, ориентированное пневматологически, динамично» [2, с. 378].

Наше сознание, приспособленное к познанию вещей, т.е. бытия, после грехопадения закрыто для восприятия духовной реальности; раскрытие «духовного ока» требует от человека определенных усилий, но все равно «рациональное определение духа невозможно, это безнадежное предприятие для разума. Дух умервщляется таким определением, он превращается в объект, в то время как он есть субъект. О духе нельзя выработать понятия. Но можно уловить признаки духа. Можно сказать, что такими признаками духа являются – свобода, смысл, творческая активность, целостность, любовь, ценность, обращение к высшему божественному миру и единение с ним» [2, с.379]. Единственно к чему способен разум, это отграничить Дух от природной реальности апофатически, т.е. указать, что он не есть, и тогда Дух, с точки зрения Бердяева, можно охарактеризовать как «пребывающий в глубине». Это внутреннее, и его жизнь не порождает ничего внешнего, поверхностного. Природный же мир, сам по себе, не знает глубины; ее можно раскрыть лишь в духе, в свете понимания природного мира как символа духа, отображения духовной жизни. Но сам дух можно понять только отграничив его от мира природного, преодолев все вмещения. Направленности бердяевского философствования не на абстрактное отвержение, но на преодоление тяжести мира через его усовершенствование определило понимание философом духовности как конкретной (в истинно гегелевском смысле), а не отвлеченной: «Отвлеченная духовность есть очень несовершенная форма духовности. Неизмеримо выше стоит конкретная духовность, преображающая и просветляющая жизнь мира: «Духовная жизнь совсем не есть реальность, существующая наряду с действительностью физической и психической, с действительностью природного мира, – она вбирает в себя всю действительность, сознавая, что вся действительность есть лишь ее символизация, лишь отображение ее состояний, ее внутренних событий. Ее пути. Дух совсем не противоположен плоти, плоть есть воплощение и символ духа. Духовная жизнь есть историческая жизнь, ибо историческая жизнь есть жизнь конкретная. Но внешняя историческая действительность есть лишь отображение духовной жизни во времени, в раздельности. Все внешнее есть лишь знак внутреннего. Сама материя есть лишь символизация внутренних состояний духовного мира, его вражды и раздельности, а не субстанция, существующая сама в себе» [3, с. 32], дух есть, таким образом, глубина мира, его смысл, «его внутреннее». Духовная реальность опознается опытно, так как своеобразная (в отношении прежде всего бытия) реальность духа известна нам прежде всего как духовная жизнь; то можно сказать, что дух

есть жизнь и познается в конкретном опыте, в котором нет противопоставления на субъект и объект, ибо познающий дух и есть дух познаваемый. Духовная жизнь, по Бердяеву, не есть предмет познания, но само познание духовной жизни, все происходящее в духовной жизни происходит с человеком, как имеющим дух.

Акт философского познания духовной реальности в тех границах, которые мы обозначили ранее, следовательно, может быть рассмотрен с двух сторон: *во-первых*, материалом его является конкретная духовная жизнь человечества, запечатленная для нас в великих творениях его (человечества) гениальных представителей и сохраненная живым преданием (мы пока должны уклониться от обсуждения сложного вопроса об адекватности предания, как и от вопроса его состава). Материал же этот, *во-вторых*, обязательно должен быть соотнесен с духовным опытом философствующего. При этом Бердяев утверждает, что сохраненный преданием духовный опыт человечества, в котором выразилась сама вневременная духовная жизнь, должен быть одновременно как школой духовной жизни каждого человека, так и условием духовной жизни вообще: личность не может начинать с себя, декартовское *cogito ergo sum* есть точка не благоприятная для начала приобретения духовного опыта (выраженная Августином в VII книге его «Исповеди» эта же мысль, добавим мы от себя, не утратив цельности декартовской формулы, много приобрела в контексте церковного сознания и опыта).

Подлинная духовная жизнь вневременна, приобщаясь к ней через предание, мы обретаем не объект для исследования, но приобщаемся к опыту духовной жизни великих ее представителей: Платон – наш современник в этом отношении, более того, он часто более современен, чем мы сами с нашими отвлеченно-рационалистическими (чаще еще хуже – позитивистическими) построениями (конечно, когда они начинают претендовать на универсальность: в своем месте они служат своей цели). Итак: «Духовная жизнь была подлинно конкретно явлена в духовном опыте человечества и оставила по себе творения и памятники. Это уже не есть явление природы, это – явление духа. Глубокий смысл церковного предания заключается в раскрытии духовной жизни не во внешней природе или в отвлеченной мысли, а в духовной соборности» [3, с. 33]; духовная жизнь человечества, реализующаяся в истории духовной культуры как подлинной духовной соборности, есть истинная сущность всего исторического бытия человечества в целом (соборном единстве) и каждого человека как духа в этом, падшем и несовершенном, материальном и историческом, но через соборное творчество усовершенном мире.

Если мы правильно увидели специфическую реальность духа и попытались определить способы ее возможного познания, то перед нами открывается новое ее измерение: духовная жизнь есть единственное место встречи человека с Богом. Это утверждение тоже фиксирует некую изначальную интуицию, т.е. не может быть ни доказано, ни выведено: оно рождено опытом духовной жизни. Бердяев пишет: «Духовный мир есть место встречи природы божественной и природы человеческой. Эта встреча есть духовный первофеномен. В глубине духовной жизни разыгрывается религиозная драма отношений между Богом и человеком. Духовной жизни нет без Бога, с одной человеческой природой. Качество духовной жизни есть в человеке лишь в том случае, если есть к чему возвышаться и куда углубляться, если есть высшая божественная природа. Человек, погруженный в свою собственную природу, был бы лишен духовной жизни. И если бы существовала одна божественная природа, если бы не было для Бога Его другого, то не было бы первофеномена духовной жизни, то все погрузилось бы в отвлеченное безразличие. Божественное бытие должно выйти из бытия в себе в свое другое, в бытие человеческое. В конкретной духовности не снимается и не упраздняется личность человеческая, не тонет в бескачественном единстве. Две природы – Бог и человек – остаются в самой глубине духовной жизни» [3, с. 42-43]. Другими словами это можно выразить и так: дух есть место встречи человеческой свободы и божественной благодати, есть свобода, просветленная Логосом, есть место возникновения Смысла, который рождается от просветления человеческой свободы Логосом и одухотворением ее боже-

ственной любовью. В христианстве, открывшем подлинную реальность Духа, Дух есть, прежде всего, Святой Дух; если обойти сложнейшие богословские вопросы, связанные со Святым Духом и ограничиться только «переводом» сказанного (и еще больше – не сказанного здесь нами) на язык философии, то можно утверждать здесь вслед за Бердяевым: «Дух есть не бытие, не сущность, а сущее, существующее, имеющее подлинное существование, он не подчинен детерминации всякого бытия. Дух есть не принцип, а личность, то есть высшая форма существования» [4, с. 215], а значит: «Дух носит аксиологический характер, дух есть не природа, хотя бы и душевная природа, а истина, красота, добро, смысл, свобода» [2, с. 382], – но все это не «объективно», но «лично».

Христианская духовность не есть гностический рафинированный эгоизм и равнодушные к судьбам мира и других людей; просветленная любовью и смыслом, христианская духовность подлинно соборна (это одно из важнейших понятий, которое должно быть нами положено в основание социальной философии) ее существо адекватно выражено пророками: «Опыт пророческой духовности, всегда активной и творческой, есть пламенный призыв к служению миру и человечеству, но при свободе от мира, при свободе от велений общества» [2, с. 461].

Так описывая свое понимание духовности, Бердяев не может не ставить вопроса о соотношении реальности духа и привычной нам эмпирической реальности, она, конечно, не исчерпывается только областью материальных вещей, сложность ее состава очень хорошо описана С.Л. Франком в первой главе его книги «Реальность и человек», да и сам Бердяев много об этом писал. Для нас сейчас важно определить принцип такого соотношения, и он вполне для нас ясен: «Все материальное создается духовным, символизирует духовное и не может быть рассматриваемо как самостоятельная реальность» [5, с. 145]. Существенным для нашего исследования является различие плоти и материи: воплощение и материализация – совершенно различные процессы: плоть может быть одухотворена, и тогда: «Дух включает в себя и тело, он одухотворяет тело, сообщает ему иное качество» [6, с. 19], но может быть и материализована (как «грешная плоть»), и тогда: «Воплощение духа может оказаться объективацией духа, и тогда дух нельзя уже узнать в его воплощениях. Объективный дух есть contradiction in adjecto, есть иссякание духа. И на этом держатся организации человеческого общества и цивилизации» [4, с. 253]. Все изложенное есть ключ к истинному пониманию общества и государства, а также к тем многочисленным уклонениям и извращениям, как в понимании, так и в действительности, которые в силу тех или иных, духовных и исторических, причин так часто и осуществляются в жизни.

Если, как мы отметили, все материальное (понятие материального употребляется Бердяевым не для обозначения физической данности, но для обозначения всего, на чем лежит отпечаток «падшести», «тяжести» мира) есть лишь более или менее адекватное, но всегда ограниченное и несовершенное, даже извращенное, выражение духовного, то принципиально важно в каждом случае познать смысл каждого, материального или «материализовавшегося», явления; это значит в материальном увидеть символ духовного. «Символ (ὄντοςμφολοζ) значит посредник, знак и вместе с тем связь. Συμβάλλειν – значит соединять, разделяя, связывать. Символ и символизация предполагают существование двух миров, двух порядков бытия. Символ не может иметь места, если существует лишь один мир, один порядок бытия. Символ говорит о том, что смысл одного мира лежит в другом мире, что их друг-друго мира подается знак о смысле» [3, с. 50].

Символ одновременно указывает, что два мира разобщены не окончательно, он сам – мост между мирами, но мост временный (христианский символизм во всяком случае утверждает именно это) и не единственный. Можно даже сказать, что символ есть не только сам мост, но прежде всего указание на его существование. Символ говорит нам, что смысл природного мира – в мире духовном, что природный мир есть отражение его (духовного мира), и одновременно демонстрирует символический смысл природного мира. Символ есть указание на значительность и ценность, которые возникают только в мире осмысленном. Символиче-

ское познание есть познание апофатическое: оно указывает и ограничивает, но не образует понятия. Познание в понятиях возможно только относительно природного мира, оно фиксирует закономерную связь явлений, но не в силах уловить смысл ни самого явления, ни связи. Осмысленность явление получает лишь в отношении к миру смысла – духовному миру (если воспользоваться терминологией Канта – к ноуменальному миру; сам Бердяев часто пользуется термином «ноуменальный», вкладывая в него лишь отчасти кантовский смысл). Природный мир сам по себе лишен смысла и значительности, единственное условие возможности их – телеологичность процессов природы и целостность мира – отрицаются Бердяевым; обнаружить смысл можно лишь пережив его в духовном опыте, лишь обратившись к духовному миру. «Смысл доказывается лишь жизнью, исполненной смысла, он показывается сознанием, обращенным к миру смысла, сознанием символическим, озаменованным, связывающим, означающим» [3, с. 51].

Для религиозного мироощущения собственно то, что есть плод разочарования в этом грешном мире и связанный с этим в отношении к нему (грешному миру) пессимизм, называется «мировой скорбью». Но пессимизм этот относительный, а не абсолютный, как относительна отделенность мира от Бога, относителен сам мир. Над миром есть Бог – Творец этого мира, и Он, конечно, присутствует в своем творении, хотя оно и отвернулось от него (существенно в грехопадении именно то, что творение отвернулось от творца, а не то, что Творец якобы отвернулся от творения). Пессимизм же выполняет отрицательную задачу пробуждения от самодовольства и довольства миром. Христианин ощущает себя «не от мира сего», перестает «любить мир, и то, что в мире», и именно здесь ему грозит опасность безразличного и горделивого отвержения мира, грех, в который впал и за который был осужден Ориген. Спасти от этого соблазна (а христианин именно как искушение и соблазн должен рассматривать такое безлюбное к миру отношение) может отчетливое сознание того, что «мир сотворен Богом, есть творение, в Творце он имеет начало бытия своего.

Религиозное оправдание мира должно пониматься, прежде всего, через его отношение и причастность Церкви: усовершенствование мира в пределе означает для христианского сознания его оцерковление; о. П. Флоренский, например, писал: «Церковь имеет задачей водворить в твари Царство Божие, т.е. приобщить конечное и временное бесконечному и вечному. Как желающая даровать вечную и бесконечную жизнь, Церковь должна сама обладать ею: как желающая даровать эту жизнь конечным и временным тварям, она сама должна находиться в среде их, приобщаться их конечности и временности. Отсюда – двойственность Церкви: отсутствие одной из указанных сторон делало бы Церковь несоответствующей ее цели» [2, с. 324].

Именно поэтому «для нового религиозного настроения и сознания, переживающего весь опыт новой истории, всю глубину сомнений и отрицаний, вопрос о Церкви ставится иначе, чем для обветшалого сознания. Мы ищем Церковь, в которую вошла бы вся полнота жизни, весь мировой опыт, все ценное в миру, все, что было бы подлинным бытием в истории. За стенами Церкви ничего не должно остаться, кроме небытия. Церковь есть космическая сила, обожженная душа мира, Церковь и есть божественный мир, непогибающая связь между Богом и миром. Вхождение в Церковь есть вхождение в подлинный мир, а не выхождение из мира. Люди старых религиозных чувств и старого сознания идут в Церковь спасаться от мировой жизни, замалывать грехи, накопившиеся в миру, и все, чем они живут, оставляют у входа в ограду Церкви, все самое дорогое для них, самое ценное в их жизни, все творческие порывы, любовные грезы, вся сложность их опыта, весь путь мировой истории – все это не входит с ними в Церковь, не смеет войти. Этого дуализма мы уже не можем вынести, этот дуализм стал безбожным, он умервщляет религиозную жизнь, является хулой на Св. Духа. В Церкви должно быть все наше дорогое, все наше ценное, все наше выстраданное в мире – наша любовь, наша мысль и поэзия, все наше творчество, отлученное от Церкви старым сознанием, все наши великие мирские люди, все наши приподымающие порывы и мечты, все, что было трансцендентного в нашей жизни и в жизни мировой. Церковная жизнь

есть полнота жизни, богатство бытия, а не семинарско-поповско-монашеский колпак, которые держат в своих руках власть имеющие» [5, с. 288–289].

В заключение следует еще раз подчеркнуть: уклонения исторического христианства, имели в своей основе недооценку творческих потенций человека, принижение, забвение или игнорирование его Бого-сыновства, Богочеловеческой природы, а тем самым и элиминирование свободы из сферы проявления человеческой сущности. В XX веке христианство встало перед проблемой создания новой христианской антропологии, созданием даже антроподицеи – оправдания творческого предназначения человека в усовершенствии, а в пределе – обожении, павшего мира. Проблемы истории, культуры, общества, государства не могут быть даже правильно поставлены, не только решены, без христианского решения проблемы человека. Жизнь человека может быть осмыслена, этот смысл открывает ему христианство: осмыслено не только отношение христианства к миру, но и его активность в мире.

Библиографический список

1. Бердяев, Н.А. Смысл творчества / Н.А. Бердяев. Философия свободы. Смысл творчества. – М.: Правда, 1989. – 580 с.
2. Бердяев, Н.А. Дух и реальность / Н.А. Бердяев. О назначении человека. – М.: Республика, 1993. – 357 с.
3. Бердяев, Н.А. Философия свободного духа / Н.А. Бердяев. – М.: Республика, 1994. – 228 с.
4. Бердяев, Н.А. Опыт эсхатологической метафизики / Н.А. Бердяев. – М.: Республика, 1995. – 286 с.
5. Бердяев, Н.А. Судьба России / Н.А. Бердяев. – М.: Мысль, 1990. – 207 с.
6. Бердяев, Н.А. Смысл истории / Н.А. Бердяев. – М.: Мысль, 1990. – 174 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

V.V. Terentjev

WORLD JUSTIFICATION AS SOCIAL ONTOLOGY PROBLEM

Ltd. Express

Purpose: The containing and semantic range of «world justification» is the subject of analysis.

Design/methodology/approach: The theoretical-methodological base of research is the existential metaphysics of N.A. Berdyaev.

Findings: «World justification» is described as the social ontology problem.

Research limitations/implications: The results of the research can be used within the socio–ontological projects.

Originality/value: Christian mentality is not the indifference to the world and Gnostic refined egoism. The experience of the prophetic spirituality is of great value from the point of modern social development.

Key words: religion philosophy, social metaphysics, «world justification», social ideal.

УДК 303.001.18

В.И. Казакова

**КРЕАТИВНОСТЬ КАК «ЖИЗНЕННЫЙ МИР»:
К ВОПРОСУ О КРИЗИСЕ СОЦИАЛЬНЫХ НАУК**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Креативность рассматривается в данной статье как ключевая составляющая дискурса кризиса общественно-исторического развития, которая в то же время выявляет себя в качестве основания кризиса социальных наук. И общество, и знание о нём переживают в настоящее время период максимальной неопределённости, описываемой и для той, и для другой сфер в терминологии оппозиции творческой и инерционной составляющих. В процессе рассуждений автор обращается к модели кризиса наук Э. Гуссерля, который интерпретировал его как следствие утраты связи научного знания с «жизненным миром» – предзаданным пространством допредикативного чувственного опыта.

Проводится параллель между «креативностью» и «жизненным миром» как творческими составляющими, детерминирующими способность той или иной системы к изменению. В её игнорировании можно видеть не только основание критики современных преобразовательных проектов, но и сферу проблематизации социального развития и социального знания.

Ключевые слова: креативность, феноменология, инерция, творчество, инновация, жизненный мир, кризис науки.

Прошлое социальных наук подчас столь же непредсказуемо, как и история общества. В противоположность естествознанию, социальные науки никогда не были уделом немногих избранных, им не посчастливилось быть вассалами теологии или предметом магических исканий. Уподобившись в большинстве своём слишком длинному комментарию к тематизации индустриального переворота, они переживают уготованную им Максом Вебером «вечную молодость», беспрерывно меняя контексты и тенденции осмысления вечно повторяющихся вопросов [1, 2]. В период, когда и общество, и знание о нём переживают состояние максимальной неопределённости, кризис социальных наук уже не рассматривается как нечто из ряда вон выходящее. Понятия «травмы», «риска», «неопределённости» столь прочно вошли в обиход современного обществознания, что понятие «кризиса» сам по себе утратило своё исходное значение. И по отношению к социальным наукам, и по отношению к самому предмету их исследований оно перестало означать нечто кратковременное и подлежащее немедленному преодолению. Состояния экономической неопределённости или теоретической избыточности, неустойчивость их тенденций и непредсказуемость их развития выродились в своеобразную «болезнь» роста, обусловленную трагической перестройкой ранее существовавших отношений» [3, с. 142]. Проблематичность развития общества раскрывает себя в различных вариантах «смерти» социального, проблематичность развития знания об обществе – в мультипарадигмальности, ставшей столь же привычной, как состояние перманентной «транзиции».

Общество стремительным образом упрощается на фоне столь же быстрого усложнения мысли о нём [4]. Как мир России, так и мир Запада, при всей разнонаправленности путей общественного развития, оказались как бы с разных сторон у одного и того же рубежа, означающего отсутствие жизнеспособных альтернатив дальнейшего развития [5]. И о той, и о другой форме социального можно говорить как о чём-то застывшем, законченном, искусственном. Характерное для современных российских реалий сведение почти всего населения страны к так называемому «базовому» слою, навевающее явные аналогии «вторичного смесительного упрощения» в концепции К.Н. Леонтьева [6], сопровождается всё более усложняющейся системой стратификационных образов и социальных портретов «элиты», «среднего класса», «интеллектуала», «маргинала». Каждый из них, сочетая в себе трудносоизмеримые составляющие класса, страты, сословия, вынужден формироваться в отсутствие

концептуального единства, сосуществуя одновременно на разных уровнях осмысления. Неизбежным следствием этого являются очевидные расхождения между эмпирическими данными и имеющимися теоретическими моделями, невозможность вписать реальные изменения в сколько-нибудь достоверную стратификационную пирамиду, замыкающие большинство социологических исследований на проблематике идентичности [4]. Упрощение западного мира – бездуховность «общества потребления», псевдореальность «матричного существования», которая сводит любую теорию либо к «взаимосвязи между данными», либо к «усилиям, прилагаемым в области понятий, в довольно широком и не очень определённом смысле» [7, с. 15].

«Кризис науки», как и «кризис общества», таким образом, продолжает обретать всё более широкий диапазон смыслов, вбирающий в себя различные аспекты «переходности» и «неопределённости». Принимаемое в качестве исходного для нижеследующих размышлений определение кризиса как такового отождествляет его с гуссерлевским «сомнением в подлинности» [8]. Последнее, в свою очередь, раскрывает себя через утрату «жизненной значимости, неспособности соотнести научные ценности в пространстве «истинных смыслов человеческого существования» [8]. Возврат к этой основе, обозначенной Э. Гуссерлем как «жизненный мир», принимается им как путь преодоления кризиса научного знания, рассматриваемый в терминологии «забвения — воспоминания». Этот концептуальный лейтмотив как никогда актуален в наши дни, когда едва ли не любой научный дискурс заключает в себе ярко выраженную «идеологию возврата». Путь к «другому началу», который возможно отыскать перед лицом «конца истории» и «смерти социального», обозначается в настоящее время как «креативность». Сама постановка вопроса её формирования и развития оказывается удивительно созвучной гуссерлевскому пониманию творчества как «радикальной и сущностной проблемы духовной жизни» [9, с. 665]. Соответственно сопоставление с проблематизацией «жизненного мира» открывает новые возможности как в раскрытии сути «транзиции» общества и кризиса социальных наук, так и в детерминации «креативности», являющейся в целом весьма дискуссионным понятием.

Интерпретация кризиса социальных наук в терминологии оппозиции инерционной и творческой составляющих является в настоящее время одной из наиболее признанных и распространённых [10–12]. Главная причина кризисного состояния видится в игнорировании творческой составляющей, детерминирующей способность социальной системы к изменению. Таким образом, в качестве основного рубежа, характеризующего современную диалектику неизменности и становления, выступает граница репродуктивного и преобразовательного, рутинного и творческого. Состояние «исхода», становящееся всё более очевидным, проявляется как дефицит подлинно человеческого содержания, «лишённость» человеческого присутствия. Главным ценностным ориентиром становятся возможность и свобода самореализации человека, расширение его жизненного пространства, высокая адаптация к быстро меняющимся условиям окружающего мира. Достижение этих целей чрезвычайно проблематично уже на уровне разработки адекватных стратегий, что наглядно демонстрируется безмерным семантическим диапазоном «креативности». В данном аспекте также очевидна параллель с «жизненным миром», традиционно считающимся одним из самых сложных понятий гуссерлевской феноменологии. «Забывтый смысловой фундамент» как бы находится «по ту сторону» каких-либо свойств, определений и размерностей, многочисленные попытки адаптировать его к социальному миру конкретизировали проблему, но её решение [13]. В равной мере «креативность», которую можно определить как конструктивную реакцию на вызов сложности окружающей действительности, заключает в себе столь же значительный, сколь и неопределённый потенциал коммуникативной действенности мысли, направленный на преодоление проблемных ситуаций. И «жизненный мир», и «креативность» являются, в сущности, «именами», даваемыми поиску смысла перед лицом непрерывно воспроизводящегося «сомнения в подлинности»; таким образом, в практическом отношении они представляют собой способ избежать скептицизма. Это замыкается, в свою очередь, на глубокое эк-

зистенциальное противоречие, связанное, согласно Э. Гуссерлю, с невозможностью отказаться от веры в возможность универсального знания и одновременно — с необходимостью размещать эту веру в рамках ограниченных сиюминутных культурных целей [8, с. 561]. Данное противоречие допускает единый взгляд на «креативность» и «жизненный мир» как на возможность поиска общего основания выхода из кризиса, несмотря на их концептуально-методологическую разнородность. Можно оговориться также, что подобное сопоставление ни в коем случае не может означать попытку ещё одной интерпретации «жизненного мира» применительно к социальной действительности. Непреодолимым препятствием к этому является, к примеру, неизбежная и труднопреодолимая поверхностность «креативности», её несопоставимость с феноменологическим уровнем анализа. Тем не менее, экзистенциально-онтологический уровень осмысления данной проблематики оставляет множество возможностей их совместного рассмотрения.

«Поворот к жизненному миру» иногда упрощённо трактуется как «поворот от рационального к иррациональному». Речь идёт об «иной трактовке рационализма и его форм, которая была направлена на осмысление истории и её цели, на постижение как её объективного смысла, так и фундаментальных оснований» [13]. Радикальное изменение представлений о научной рациональности можно рассматривать как главное основание «сомнения в подлинности» как симптома кризисного состояния, проявляющего сразу в нескольких гносеологических аспектах. Век социальных наук, предсказанный К. Леви-Стросом, обретает свой облик во времена критического рационализма, когда едва ли не любой критерий демаркации научного/ненаучного смещён в нравственную сферу, когда доминирующий экстернализм вытесняет причинные объяснения в область культурных феноменов, когда классика, не располагая методами решения насущных проблем, тем не менее, остаётся горизонтом, за пределы которого нельзя выйти [4]. Это особенно ярко сказывается на примере социологических и экономических исследований, для которых проблематика соотношения теоретического и эмпирического стоит особенно остро. Большинство дискурсивных ориентиров подразумевают здесь в качестве последнего основания решения определённых нравственных проблем, в соответствии с которыми выстраивается та или иная эмпирическая база, сомнительная достоверность которой также весьма очевидна. Вместе с тем склонность современного социологического исследования к чрезмерному акцентированию нравственных и эстетических аспектов, ярко выраженную тенденцию к изложению исследований в жанрах эссе и публицистики принято рассматривать как порок, подлежащий немедленному искоренению. Озабоченность не наблюдаемой, но воображаемой реальностью признаётся также в качестве главной проблемы развития представителями экономической науки [14]. Это смещение акцентов исследований, свойственное на рубеже веков не только отечественной, но и западной науке, заслуживает, на наш взгляд, более глубокого изучения, нежели как исключительно концептуальной проблемы. Оно оказывается, в конечном итоге, связано с постиндустриальными трансформациями, в рамках которых материальные факторы становятся вторичными, уступая место приоритетам информационной реальности. С точки зрения развития социального знания здесь наблюдается стремление транслировать парадигмальные установки прежних теорий на новую бесконечно меняющуюся действительность. Неоклассицизм в экономике предлагает новый концептуальный аппарат, но не новый взгляд, новые идеи, но не новое мировоззрение. Центральная проблема социологии — стратификация общества — до сих пор анализируется в контексте материальных приоритетов, в то время как функционирует в значительной мере как ментальная структура. Этот диссонанс обнаруживает дефицит осознания именно той смысловой сети социальных действий, которая в социальной феноменологии обозначалась как «жизненный мир». Обращение к нему предполагает формирование новых качеств научной коммуникации, означающих способность трансляции знания, методологии «перевода» с одной культуры на другую.

Соответственно мысль об обществе всё более утверждается в своём стремлении отказаться от теоретических исканий «big pictures» в пользу социальной жизни, «методологии

субъективного реализма» [15]. Эта трансформация в представлениях о научной рациональности не в последнюю очередь связана с так называемым «историческим поворотом» социальных наук, характеризующим достигшую кризисного состояния неопределённость в отношении прошлого. Для современной мысли об обществе оно становится не столько горизонтом прояснения смысла, сколько обоснованием его отсутствия [16]. Сослагательное наклонение истории, ещё недавно неприемлемое в рамках научного знания, обретает всё большее наполнение, становясь залогом развития «нелинейного гуманистического воображения» [17]. Исторический поворот социальных наук обостряет вопрос «оправдания» истории. Современная метаэкономика, в каком бы измерении её не рассматривать, в силу этого поворота также начинает сводиться к решению дилеммы принятия либо отрицания смысла социально-исторического процесса. Здесь снова можно говорить как об обращении к коренящимся в субъективности установкам активной жизни, так и о необходимости преодоления ригидности мышления, формирования коммуникативной интерактивности. «Жизненный мир» может рассматриваться как «исторический мир», как осадочные напластования исторических дел, совершаемых личностью, и интерсубъективных образований [13]. Согласно Э. Гуссерлю, «обстоятельное и критическое осмысление прошлого необходимо для того, чтобы до каких-то решений обрести радикальное самосознание» [8, с. 562]. На феноменологическом уровне речь идёт о повороте от смысла как формы к смыслу как цели: «несостоявшаяся» история — экономическая, политическая, социальная — означает признание «жизни не в лучшем из миров» [18]. «Всё могло быть иначе» — установка ментально необратимая и в социальном пространстве, и в сфере мысли, она означает не смену порядка детерминации, а отказ от таковой вообще; на смену поиску сущности приходит постулирование того, что окружающий мир приобрёл хорошо знакомый нам облик в результате случайных обстоятельств [9,18]. «Креативность» в данном ракурсе осмысления соответствует «широкому пониманию конституированию мира и его горизонтов в многообразии его объективных сфер» [13].

Российская интерпретация кризиса науки рассматривается иногда как «слом прежних отношений между учёными, обществом и властью» [3]. Наука, привыкшая быть идеологическим оправданием политики, испытывает некое подобие «посттравматического синдрома», осталась без прежней организационной и материальной поддержки государства, которое в течение многих десятилетий было в нашей стране единственным заказчиком научных разработок. Социальные науки, возможно, в большей мере, нежели другие области знаний, остро переживают отсутствие симбиоза с властью, которое в целом порождает довольно противоречивую картину. С одной стороны, обществоведческая мысль, избавившись от оков тоталитарных ограничений, впервые за долгое время становится подлинным инструментом анализа. Введение в научный оборот западных социологических, экономических, историографических концепций было не простым расширением познавательных горизонтов, оно разомкнуло границы идеологических иллюзий и догматических «несвобод». С другой стороны, информационное «оглушение» девяностых скорее дезориентировало направления исследований, нежели способствовало их совершенствованию. Созданные в иной культурно-исторической реальности, западные концепции подчас оказывались «прокрустовым ложем» для анализа российской действительности, и столь долгожданная трансляция общемирового универсального опыта только осложнила ригидность наших представлений. Интересно отметить, что кризис представлений о научной рациональности, о котором шла речь выше, в равной мере может быть отнесён и к сфере трансформаций взаимоотношений науки и власти. Резкое расширение концептуальных возможностей отечественной социальной науки, связанное с попытками операционализации западных теорий, не было результатом эволюционного развития научных дискурсов, оно было фактически «разрешено» властными структурами, не нуждавшимися более в идеологическом ограничении научной деятельности. Неудивительно, что путь к разрешению данной кризисной составляющей также рассматривается через

необходимость принятия соответствующих решений «сверху» [3, 19, 20]. Возврат к «жизненному миру» видится здесь как восстановление ряда «конфигураций отношений науки и власти в экстремальных условиях» [3, с. 148].

Кризис социального знания может быть, таким образом, представлен различными дискурсивными тенденциями, каждая из которых в качестве последнего основания включает в себе обращение к «радикальной конкретности» человеческой жизни. Рассмотренные в настоящей статье тематизации кризиса научной рациональности, кризиса отношения к прошлому, кризиса «социальной судьбы» науки и её действительности — так или иначе, апеллируют к необходимости формирования синтетического и междисциплинарного «креативного» мышления, предполагающего интерактивность и коммуникативную природу. Пути преодоления кризисного состояния означают не столько восхождение на новую ступень, сколько изменение самой природы социального развития, открытие новых способов конституирования «жизненного мира».

Библиографический список

1. Вебер, М. Избранные произведения / М. Вебер. — М.: Прогресс, 1990. — 808 с.
2. Немецкая социология / под ред. Р.П. Шпаковой. — СПб.: Наука, 2003. — 562 с.
3. Колчинский, Э.И. Наука и кризисы в XX веке: некоторые результаты сравнительного анализа // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2008. Т. 6. №3. С. 141-149.
4. Казакова, В.И. Простое и сложное в социальной транзисии: системный подход versus common sense // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Серия «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии». 2010. №3 (84). С. 78-87.
5. Казакова, В.И. Решение в обществе знания: опыт феноменологического анализа // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Серия «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии». 2010. №3 (84). С. 102-113.
6. Леонтьев, К.Н. Византизм и славянство / К.Н. Леонтьев — М.: Изд-во Сретенского монастыря, 2010. — 280 с.
7. Луман, Н. Социальные системы. Очерк общей теории / Н. Луман. — СПб.: Наука, 2007. — 64 с.
8. Гуссерль, Э. Кризис европейских наук и трансцендентальная феноменология: введение в феноменологическую философию / Э. Гуссерль. Логические исследования. Картезианские размышления. Кризис европейских наук и трансцендентальная феноменология. Кризис европейского человечества и философии. Философия как строгая наука. — Мн.: Харвест, М.: АСТ, 2000. — 752 с.
9. Гуссерль, Э. Кризис европейского человечества и философия / Э. Гуссерль. Логические исследования. Картезианские размышления. Кризис европейских наук и трансцендентальная феноменология. Кризис европейского человечества и философии. Философия как строгая наука. — Мн.: Харвест, М.: АСТ, 2000. — 752 с.
10. Петров, М.К. Историко-философские исследования / М.К. Петров. — М.: РОССПЭН, 1996. — 512 с.
11. Петров, М.К. Самосознание и научное творчество / М.К. Петров. — Ростов-н/Д.: Изд-во Ростовского университета, 1992. — 272 с.
12. Константинов, М.С. Вклад М.К. Петрова в новую институциональную теорию // Новые направления политической науки: Гендерная политология. Институциональная политология. Политическая экономия. Социальная политика. — М.: РАПН, РОССПЭН, 2007. С. 26-40.
13. Огурцов, А.П. Жизненный мир и кризис науки [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.intelros.ru/readroom/vox/vox-9-2010/13101-zhiznenny-mir-i-krizis-nauki.html> (Дата обращения 01.07.2013).
14. Блауг, М. Экономическая мысль в ретроспективе / М. Блауг. — М.: Дело ЛТД, 1994. — 688 с.
15. Экзистенциальный поворот в современной социологии [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://hpsy.ru/public/x5007.htm> (Дата обращения 01.07.2013).
16. Казакова, В.И. Концептуализация «path dependence» в современной социальной науке // Вестник НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Серия «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии». 2012. №3. С. 6–16.

17. **Кравченко, С.А.** Сложный социум: востребованность поворотов в социологии // Социологические исследования. 2012. №5. С. 19–28.
18. **Латов, Ю.В.** Теория зависимости от предшествующего развития в контексте институциональной экономической истории // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2005. Т. 3. № 3. С. 36–43.
19. **Мухачев, В.В.** Размышления над дискуссией о «кризисе» экономической наук // TERRA ECONOMICUS. 2010. Т. 8. № 4. С. 68–81.
20. Креативность и социальные науки / под ред. Э.Р. Григорьян. – М.: Институт социальных наук, 2011. – 114 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

V.I. Kazakova

**CREATIVENESS AS «LEBENSWELT»:
ON THE ISSUE OF SOCIAL SCIENCE CRISIS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Creativeness is described in terms of social phenomenology. It is compared with «Lebenswelt» as the way of dissolving social science crisis.

Design/methodology/approach: Social phenomenology theoretical framework is proposed to be the methodological base of the research.

Findings: Creativeness is discovered as the main constitutive element of social crisis discourses. Modern time means the period of maximal indefinite character of development. So the main topic under consideration is the boundary of creativity and inertia.

Research limitations/implications: The results of the research provides a starting-point for new way of post-industrial society study.

Originality/value: «Lebenswelt» and «creativeness» are discovered in terms of qualities which determine the system transformation abilities.

Key words: creativity, phenomenology, inertia, creativity, innovation, vital world, science crisis.

УДК 331.104.2

Е.А. Цветкова

КОНЦЕПТУЛЬНАЯ МАТРИЦА УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАТИВНЫМИ КОНФЛИКТАМИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены вопросы управления корпоративными конфликтами. Представлена концепция концептуальной матрицы как стратегического инструмента в виде минимума концептуальных ориентиров деятельности по управлению корпоративными конфликтами.

Ключевые слова: концепт, конфликт, коммуникация, организация, корпоративная культура, культурный конфликт, управление конфликтами.

Нельзя не отметить заметно возросший неподдельный интерес к зарубежному и отечественному опыту формирования в современных (по преимуществу в бизнес-сфере) организациях особого качественного состояния, именуемого *корпоративной культурой*. Это понятие по своему содержанию не совпадает с понятием «культурой корпоративных организаций», а содержит указание на особый способ существования, присущий любой организации вне зависимости от формы собственности, на которой она основана, за счет активного формирования собственного информационно-коммуникативного пространства своего существования, в котором создается и транслируется внутренним и внешним корпоративным аудиториям (и при их участии) представление организации о себе самой и о ценностных основах ее взаимодействия с миром как «своих», так и «чужих» [1]. Однако состояние неопределенности в результате участвовавших случаев организационных конфликтов по культурным причинам, как выражение процессов динамики культурного самосознания людей в процессе перехода от организационной культуры к корпоративной культуре, вызывают растущую тревогу и требуют ясности в данном вопросе, ибо факты вступают в противоречие с мифом о корпоративной культуре как абсолютном благе для организации. Ситуация неопределенности, в свою очередь, ставит перед менеджментом в целом и управляющими корпоративной культурой субъектами различного уровня и компетенции вопросы о специфике управления этим классом конфликтов и желание наличия надежного концептуального ориентира в этой непростой ситуации.

Речь идет о представлении практикам такого стратегического инструмента управления корпоративной культурой и корпоративными конфликтами в современной организации, как концептуальная матрица, цель которой состоит в обеспечении рационализации основ данного направления управленческой деятельности в организации. В рамках концептуальной матрицы – насколько это возможно – желательно выделение нескольких содержательно-структурных уровней, каждый из которых обладает, в том числе, собственной содержательной и функциональной спецификой. Первый уровень матрицы образуют исходные концептуальные координаты, необходимые для выделения объекта управления из числа других организационных реалий (в частности, определение отличий корпоративного конфликта как разновидности культурного конфликта от других конфликтов в организации, вызванных, например, структурно-функциональными причинами и построения модели объекта управления на их основаниях.

Содержательно этот уровень матрицы представляет собой минимальный набор концептов, которые необходимо знать управляющему субъекту для того, чтобы компетентно и целенаправленно действовать по отношению к собственным объектам в виде корпоративных конфликтов. На этом уровне общие требования к концептуальной матрице наиболее заметны и важны. Они продиктованы не просто необходимостью решения задачи рационализа-

ции основ управления корпоративными конфликтами, но и задачей их рационализации для последующей инструментализации, т.е. придания им вида, пригодного для использования в практической деятельности. Второй уровень матрицы образует концептуальная модель корпоративного конфликта объекта управления. В общем виде – это система базовых понятий и связей между ними, реализующих как сформулированные на первом уровне матрицы установки на выделения объекта управления, так и задающих когнитивно-смысловую структуру действий управляющего корпоративным конфликтом субъекта в процессе его воздействия на выделенный таким образом объект управления (т.е., корпоративный конфликт). Каждый из составляющих матрицу уровней может быть рассмотрен как относительно независимый объект рассмотрения, тогда как их системное единство придает этому инструменту синергетический характер и стратегическое звучание. При этом трудно спорить с тем, что первый уровень содержания матрицы с точки зрения его значимости для стратегического управления наиболее важен. Не претендуя на полноту и завершенность представляемой исследовательской конструкции, попытаемся очертить диапазон и роль каждого из задействованных концептов в структуре матрицы, последовательно раскрывая необходимое для решения прагматических задач содержание и смысловые связи между ними, сосредоточим свои усилия на раскрытии содержания первого уровня.

Исходным в построении концептуальной системы координат первого уровня матрицы является концепт «управление корпоративной культурой» и «управление культурными конфликтами в организации», *интегрирующим* концептом – концепт «коммуникация», *структурными концептами* – концепты «современная организация» и «корпоративная культура», *ведущим* концептом – концепт «корпоративный (культурный) конфликт». В широком смысле под управлением в организации понимают и управление процессом деятельности социальных субъектов (индивидуальных и групповых) в организации сообразной ее целям, конституирующим системные связи (организационное управление), и управление этими системными отношениями, сообразно потребностям и целям внутренних и внешних участников этого процесса (управление корпоративной культурой). Вопрос о связи этих видов управления позволит приблизиться и к обнаружению смысла формулы «управления организацией через культуру» (понятие, введенное в научный оборот Джеффом Джонсоном) и оценить ее практическую ресурсность.

Понимание смысла этой формулы складывается в русле существующих тенденций в дифференциации представлений о том, каков статус культуры в организации и каким образом она оказывает влияние на организацию при выполнении своих функций. Первая их тенденций, представленная, в частности, В. Сате [2], считает, что культура является одной из подсистем организационной системы и поэтому реализует свои функции в составе и через функции менеджмента организации, не являясь самостоятельной сферой управления. Вторая тенденция, развиваемая отечественными исследователями [3] вслед за С. Роббинзом, признает корпоративную культуру обозначением самой сути современной организации, рассматривая ее не как источник прямого программирования поведения индивидов в организации через реализацию функций культуры, но скорее как фактор, задающий возможность конвенционально-согласованного группового поведения людей на основе общих ценностей и их смысловых интерпретаций, что предполагает право культуры на развития собственных специфических ресурсов управления [4].

Наиболее близки по инструментальному наполнению этого термина различные смыслы его употребления. Назовем только три из них, которые отражают специфику этого направления управления от традиционно, а именно: управление корпоративной культурой организации, управление символическим капиталом организации (или символический менеджмент), управление культурными конфликтами в организации). Популярным является понимание корпоративной культуры как философии, определяющей смысл существования организации, преобладающие ориентиры, лежащие в основе формирования целей организации и путей ее достижения в процессе корпоративных коммуникаций, направленных на до-

стижение баланса ценностных интересов организации и ее корпоративных аудиторий [5]. Однако широко распространенное мнение, что культура и конфликты (проявление противоречий) несовместимы, ибо культура источник иммунитета организации против конфликтов и их деструктивного воздействия не соответствует действительности. Корпоративная культура и конфликты в современной организации тесно взаимосвязаны. Слабая корпоративная культура может стать их источником, и наоборот, конфликт, вызванный организационными (например, структурно-функциональными) причинами, может вскрыть проблемы корпоративной культуры и декларативный характер ценностей организации.

Поэтому, говоря о преимуществах корпоративной культуры над ее менее совершенной предшественницей – организационной культурой, обязательно следует подчеркивать, что со стремлением обрести это качество организация столкнется с неизбежной ситуацией двойственного положения человека, который одновременно будет являться и субъектом организационной культуры, который приоритетно руководствуется целями и интересами организации зафиксированные в стандартах организационной культуры и обязательных для всех участников «игры по правилам», и личностью, которая, признавая цели и интересы организации, ориентируется на ожидания уважительного отношения организации к его личной идентичности, личным ценностям и целям [6], в случае если они изначально не противоречат друг другу. Именно корпоративная культура призвана регулировать баланс соответствия целей и ценностей организации и личности в организации. В этом и заключена суть формулы «управление организацией через культуру».

В широком смысле под управлением в организации понимают и управление процессом деятельности социальных субъектов (индивидуальных и групповых) в организации сообразно ее целям, конституирующим системные связи, т.е. организационное управление, и управление различными состояниями этих системных отношений (конфликтами и/или консенсусными, например), сообразно потребностям и целям всех участников этого процесса, включая внутренние и внешние корпоративные аудитории, т.е. управление корпоративной культурой.

Рассмотрение управления как деятельности по целевому воздействию на процесс формирования системных взаимодействий и отношений людей в организации соответствует представлениям о том, что этим действиям с необходимостью предшествует этап определения рациональных основ выбора направления этих воздействий и прогноз эффективного результата в условиях, когда культурный процесс, в том числе и корпоративный конфликт, оказывается источником и/или причиной ключевого системного противоречия в развитии культуры организации как системы и одновременно характеристикой системного состояния самой организации, способным как задать инновационное направление развития организации в целом и некоторым его системным состояниям, связанным именно с культурой организации, так и вызвать стагнацию и деструктивные процессы.

Подчеркивая ключевые позиции управления культурой в выработке средств управления биполярной энергией культурных конфликтов, все признанные авторитеты сходятся на мнении, что конфликты являются естественной частью социальной жизни человека, но они превращаются в проблему только через их решение. Средства и методы разрешения конфликта определяют, будет ли конфликт позитивным или негативным» [7].

Управление конфликтом рассматривается многими специалистами как перевод его в рациональное русло деятельности людей, осмысленное воздействие на конфликтное поведение социальных субъектов конфликта с целью достижения желаемых результатов; ограничение противоборства рамками конструктивного влияния

Перспективным для этого направления применения системного подхода, но еще слабо разработанным его видом, по мнению известных отечественных конфликтологов А.Я. Анцупова и А.И. Шипилова, является системно-информационный подход [8]. По мнению этих авторов, именно он ориентирован на всестороннее выявление роли информации в конфликте, а также ее функций в процессе динамики конфликта и его завершении. Этот подход основан

на следующей онтологической посылке: все типы конфликтов относятся к тому классу системных явлений, в саморазвитии и исследовании которых информация и коммуникация имеет ключевое значение.

Принципиальным для построения системы концептуальных координат управления как корпоративной культурой в целом, так и корпоративными конфликтами, является концепт «коммуникация». Он содержит в себе зерна значений и смысловых связей всех уровней, определяя содержание и направленность деятельности управляющих ею субъектов. Фиксируя универсальность и тотальность этого вида деятельности, объединяющего все остальные и придающие любой коллективной как рациональному процессу целостность. Пожалуй, наиболее убедительно выглядит аргументация в пользу понимания культуры как коммуникации представителей символического интеракционизма (Ч.Х. Кули, Дж.Г. Мид). Именно они последовательно обосновали коммуникацию как форму социального взаимодействия, так как в процессе информационного обмена мнениями, оценками, суждениями, люди оперируют материальными и/или символическими объектами исходя из того значения или смысла, которое эти объекты для них имеют в результате достигнутого соглашения, способствующего установит «общий язык понимания». Сами же культурные значения и смыслы вырабатываются людьми в ходе организационного (социального) взаимодействия и позволяют людям интерпретировать ситуации, оценивать преимущества и недостатки происходящего с ними в организации, производя информационно-коммуникативные феномены, и общения, образующие или вливающиеся во внутреннее и внешнее информационное поле организации [9]. Одним из эффективных механизмов формирования смыслов и через них формирование направленности действия играет метафора. Именно метафора выражает присущий культуре способ воздействия через лингвистические формы.

Гарет Морган в своей нашумевшей книге «Имиджи организаций: восемь моделей организационного развития» убедительно показывает, что избрание ведущей метафоры организации при формировании организационного дискурса создаёт ключевые для понимания организационной жизни значения посредством дискурсивной деятельности [10]. Так, концепт «организация» структурирован по основанию гносеологической метафоры «культура», основным следствием которой является признание основой организации ее внутренних и внешних коммуникаций (например, коммуникация – это способ формирования и поддержания и реализации мотивационных систем у представителей различных корпоративных аудиторий). Признание культуры сутью современной организации равносильно и признанию равноправия субъектного и личностного проявлений в организационной деятельности людей, которая осознается и интерпретируется как правомерное ожидание со стороны организации обеспечение сбалансированного, непротиворечивого их сосуществования. Г. Морган, рассматривая сильные и слабые стороны этой метафоры, выделяет как главное звено коммуникативной (ценностно-интерпретативной) напряженности, а именно: корпоративная индивидуальность как присущее корпоративной культуре неповторимое сочетание ценностей, способных решать задачи внутренней интеграции и внешней адаптации организации через организационную деятельность и организационную коммуникацию содержит в себе зерно противоречия, так как, задавая принципы существования организации как ценностно-целевой общности людей, создает и своего рода ценностно-конвенциональную утопию ценностного (культурного) равенства / единства людей, справедливый баланс их организационных и личных ценностей-целей.

Применение метафорической стратегии к концепту «культура» предполагает структурирование по основанию гносеологической метафоры «коммуникация», основным следствием которой является признание ее единственным способом создания и трансляции смыслов и кодов культуры в рамках организации как локального социума. От субъектов управления корпоративной культурой непосредственно зависит, по какой траектории пойдет развитие этого системного отношения: по пути возникновения полирациональных конфлик-

тов, вызванных культурными причинами, или по пути ретрансляции в различных коммуникативных формах (беседах, легендах, переговорах) [11] поддерживаемой корпоративной индивидуальностью через драйверы организации (корпоративная миссия, корпоративная имидж-легенда, корпоративная слоган) и корпоративной идентичностью через корпоративную идентичность сотрудников и корпоративная стиль конвенциональной утопии «ценностного единства организации» [10].

Выразить двойственную функциональную роль культуры в управлении системными отношениями и организаций, таким образом, следует с учетом того, что организационная реальность создается людьми, когда они взаимодействуют и вступают в коммуникацию, коммуникация неотделима от процессов формирования и передачи культурных смыслов. В организации люди, активно интерпретируют реалии взаимодействия, различные факторы и инфраструктуру, а затем передают извлеченные таким образом культурных смыслы, которые непрерывно передаются по различным каналам прямой и опосредованной коммуникации. Как сама проинтерпретированная информация, так и процесс прохождения информации по этим каналам чреват культурными конфликтами. Однако знание закономерностей конфликтной коммуникации делают возможным эффективное управление этими процессами и придания ими конструктивного поворота.

Организационный конфликт представляет собой особый тип взаимодействия, в основе которого лежат противоречия в интересах, целях, ценностях людей, концентрирующиеся в рамках формальной или неформальной структуры организации [12]. Взаимодействие в организационной культуре, представляющей организацию как ценностно-целевую структуру взаимодействий, где неравенство (несправедливость) сбалансированное ценностным контекстом (корпоративной индивидуальностью). При этом имеет место структура социального взаимодействия разной силы воздействия иерархически соподчиненных участников этого процесса, где каждая из сторон движется в направлении реализации потребностей, так же детерминируемых рангами статуса в иерархии, что и формирует универсальное противоречие между отношениями и потребностями людей.

Специфика содержания этих воздействий задает, например, состояние корпоративной идентичности сотрудников, которая свидетельствует либо об оппозиции (конфронтация), либо о консенсусе (сотрудничество). Культуру справедливо представляют как банк культурных сценариев коммуникативной деятельности людей, через которые она и реализует свои функции как в социуме, так и в организации как локальном социуме. Дифференцирующая функция и нормативно-регулятивная отражена в двух стратегических культурных сценариях, где цели, средства и результаты подчинены дихотомии «свои» (вовлеченные в диалогическую коммуникацию на основе общих или близких ценностей) и «чужие». Здесь мы имеем дело с дисбалансом во взаимоотношениях элементов системы стратегии сотрудничества на основе единых, близких (неантагонистических) интересов, что порождает и воспроизводит отрицательную обратную связь в их отношениях.

Корпоративный конфликт (культурно-организационный конфликта) трактуется, *во-первых*, как стадия противоречий в ценностно-нормативных установках, ориентациях, позициях, суждениях между отдельными людьми и группами людей, образующих различные субкультурные образования в рамках культуры организации, *во-вторых*, – как разновидности сложного коммуникационного процесса. Динамика культурных организационных конфликтов раскрывается как движение от осознания коммуникации (содержания и процесса) как конфронтационной к вынужденной трансформации этой коммуникации в компромиссную (институционализируемую на базе формально-правовых нормативных документов организации) к сотруднической (консенсусной) коммуникации в виде добровольной или конвенциональной трансформации (институционализируемую и регламентируемую неформально-нормативными документами организации – корпоративным кодексом, например).

Культурный конфликт – это конфликт ценностей и интерпретаций [13], основанных на ценностях, которые понимаются как устойчивое убеждение в том, что определенный способ поведения или конечная цель существования предпочтительнее с личной или социальной точки зрения, чем противоположный или обратный им способ поведения либо конечная цель существования. Важно, что ценности содержат элемент суждений, а следовательно, несут на себе отпечаток представлений отдельного человека о том, что следует считать правильным (например, справедливым) [4].

Организационно-системные отношения конституируются двумя видами действий, чреватых противоречиями и конфликтами при взаимодействиях, а именно целерациональными действиями носителей должностных статусов (вытекающими требованиями организационной иерархии как целесообразности) и ценностно-рациональными (связанными со стремлением организации к виду «ценностная общность людей» на основе ценностной близости разностатусных участников организационного процесса). Для каждого из этих видов конфликтного взаимодействия в культуре имеются заготовленные коммуникативные сценарии, где участникам предоставляется право маркировки своего отношения к проявлениям неравенства как справедливого (сценарий консенсусной коммуникации), так и несправедливого (сценарий конфронтационной коммуникации).

Такие сценарии существуют в пространстве культуры как некоторые системы условий и требований, которые задаются существующей в обществе культурой и предъявляются обществом к тем, кто данной деятельностью занимается. Эти сценарии характеризуют то, что называют культурой деятельностью и конкретизируются применительно к локальной культуре, какой и является культура организации [13]. Они различаются по степени своей общности, по соотношению когнитивных, ценностных и регулятивных составляющих по путям и способам своего вхождения в жизнь людей и являются реальными инструментами управления корпоративными конфликтами.

Библиографический список

1. **Капитонов, Э.А.** Корпоративная культура и PR / Э.А. Капитонов, А.Э. Капитонов. – М.: Ростов-н/Д.: Март-Т, 2003.
2. **Соломанидина, Т.О.** Организационная культура в таблицах, текстах, кейсах и схемах: учебно-методические материалы / Т.О. Соломанидина. – М.: ИНФРА-М, 2009.
3. **Щербина, В.В.** Социальные теории организаций: словарь / В.В.Щербина. – М.: ИНФРА-М, 2000.
4. **Роббинз, С.П.** Основы организационного поведения / С. П. Роббинз. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
5. **Замедлина, Е.А.** Организационная культура: учеб. пособие / Е.А. Замедлина. – М.: РИОР, 2009.
6. **Реут, Д.В.** От организационной культуры к корпоративной через декомпозицию многоуровневых конфликтов / Д.В. Реут, О.А. Черкашина [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.odn2.ru/index.php/biblioteka/31-konfliktologiya/108-ot-organizatsionnoj-kultury-k-korporativnoj-cherez-dekompozitsiyu-mnogourovnevnykh-konfliktov> (Дата обращения 01.07.2013).
7. **Светлов, В.А.** Конфликт: модели, решения, менеджмент / В.А. Светлов. – СПб.: Питер, 2005.
8. **Анцупов, А.Я.** Конфликтология в схемах и комментариях / А.Я. Анцупов, С.В. Баклановский. – 2-е изд., перераб. – СПб.: Питер, 2009.
9. **Сафронова, И.В.** Управление конфликтами в коллективе дошкольного образовательного учреждения <http://www.dslib.net/obw-pedagogika/upravlenie-konfliktami-v-kollektive-doshkolnogo-obrazovatel'nogo-uchrezhdenija.html> (Дата обращения 01.07.2013).
10. **Морган, Г.** Имиджи организации: восемь моделей организационного развития / Г. Морган. – М.: Вершина, 2006.

11. Решетникова, К.В. Организационная конфликтология / К.В. Решетникова. – М.: ИНФРА-М, 2009.
12. Белланже, Л. Переговоры / Л. Белланже. – СПб.: Нева, 2002.
13. Кармин, А.С. Культурология / А.С. Кармин. – СПб.: Лань, 2003.

*Дата поступления
в редакцию 15.07.2013*

E.A. Tsvetkova

CONCEPTUAL MATRIX OF CORPORATIVE CONFLICTS STEERING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: Indefinite situation of many organization conflicts is proposed to be the expression of cultural consciousness. Facts come into contradiction to theory. That's why steering determinants of corporative culture are of great importance for contemporary social–economic theory.

Design/methodology/approach: System approach is adopted by the author for the solution of the communicative problems.

Findings: Conceptual matrix is discovered by means of strategic instruments of professional activity.

Research limitations/implications: The reliable theoretical orienteer for the further corporative conflict research is proposed to be described in this paper.

Originality/value: Cultural organization conflicts dynamics is revealed as the movement from communication consciousness to the communication forced transformation.

Key words: religious philosophy, social metaphysics, justification of the world, the social ideal.

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 531.768.082.14

А.А. Гаврилов¹, А.Н. Шипунов²

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева¹,
ОАО Арзамасское научно-производственное предприятие «ТЕМП-АВИА»²

Рассмотрен принцип действия акселерометра компенсационного типа с магнитоэлектрической обратной связью и емкостным датчиком угла. Приведена схема электрическая принципиальная усилителя преобразователя акселерометра. Представлен алгоритм преобразования емкостного датчика угла. Проанализировано влияние вибрации на акселерометр, выявлены механизмы образования вибропогрешности. Показано как нелинейность емкостного датчика угла при начальном рассогласовании его емкостей ведет к увеличению вибропогрешности указанного акселерометра. Получена оценка вибропогрешности акселерометра диапазоном измерения $\pm 50g$ при воздействии синусоидальной вибрации. Разработан метод увеличения виброустойчивости компенсационных акселерометров.

Ключевые слова: вибрация, виброустойчивость, вибропогрешность, акселерометр, датчик угла, датчик момента, нелинейность, снижение вибропогрешности.

Введение

Одним из основных актуальных требований, предъявляемых к акселерометрам, является виброустойчивость. Виброустойчивость характеризуется способностью акселерометра выдавать информацию об измеряемом ускорении с заданной точностью в условиях воздействия вибрации. Вибрация – это механические колебания тела, имеющие разный характер от гармонического колебания центра масс до случайных колебаниями разных точек тела со спектром частот, состоящим из множества гармонических колебаний в порядке возрастания. Вибрация может возникать, например, при движении транспортных средств, работе двигателей, турбин и т. д. и может привести к нарушению режимов работы, разрушению [1].

Виброустойчивость – один из видов стойкости изделий к воздействию механических внешних воздействующих факторов. Критерием виброустойчивости акселерометров является понятие вибропогрешности, которая характеризуется как изменение постоянной составляющей выходного сигнала при воздействии вибрации.

Принцип действия компенсационного акселерометра

Рассмотрим влияние вибрации на акселерометр компенсационного типа с магнитоэлектрической обратной связью и емкостным датчиком угла. На рис. 1 показана конструкция чувствительного элемента указанного акселерометра. Чувствительный элемент содержит маятник 1, выполненный путем анизотропного травления монокристаллического кремния, заключенный при помощи электростатической сварки между двумя обкладками 2 выполненными из боросиликатного стекла. Маятник содержит в себе две катушки обратной связи 3, представляющие собой намотку из медного провода, образующие в паре с магнитными системами 4 датчик момента обратной связи. При действии линейного ускорения маятник пе-

ремещается относительно неподвижных обкладок, содержащих металлизированные полигоны, образующие с маятником датчик угла (ДУ). При перемещении маятника дифференциально изменяются емкости, которые преобразуются электроникой по дифференциально-логоритмическому алгоритму

$$U = k_{yc} \frac{R_1 C_1 - R_2 C_2}{R_1 C_1 + R_2 C_2} \cdot U_{оп} ,$$

где C_1, C_2 – емкости датчика угла; R_1, R_2 – опорные резисторы, через которые заряжаются емкости ДУ; k_{yc} – коэффициент усиления; $U_{оп}$ – опорное напряжение.

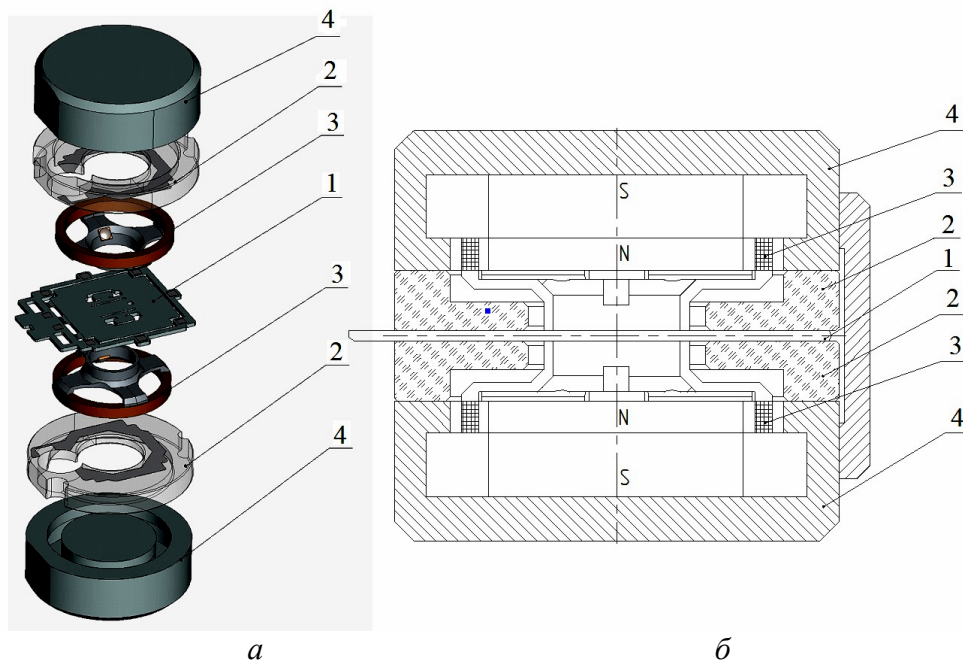


Рис. 1. Конструкция чувствительного элемента акселерометра компенсационного типа: а – трехмерное изображение ЧЭ акселерометра; б – изображение ЧЭ в разрезе

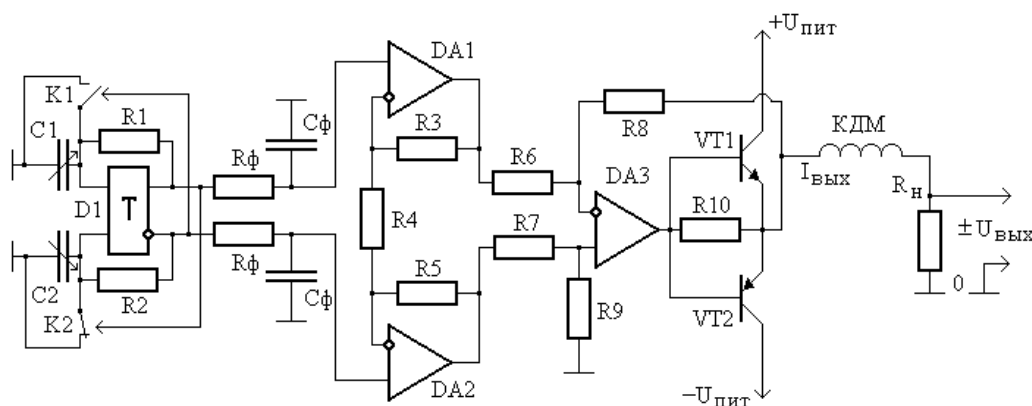


Рис. 2. Дифференциально-логоритмическая схема микроакселерометра: C_1-C_2 – измерительная схема; $T (D1)$ – RS -триггер; $K1, K2$ – КМОП-ключи; КДМ – катушка датчика момента обратной связи; R_n – внешнее сопротивление нагрузки

Дифференциально-логоритмический алгоритм электронного преобразователя устроен следующим образом. С помощью ключей и асинхронного RS -триггера опрашиваются дифференциальные измерительные ёмкости ЧЭ: заряжается и разряжается C_1 и C_2 по двум вход-

ным каналам с помощью пилообразного напряжения и выдаются на парафазный выход прямоугольные импульсы одинаковой частоты, но разной длительности, соответствующей величинам C_1 и C_2 . Причём, когда одна емкость разряжается, другая заряжается через резистор R_1 (R_2) положительной обратной связи ШИМ преобразователя $D1$ (рис. 2). Таким образом, за счет положительной обратной связи происходит циклическая зарядка-разрядка емкостной измерительной схемы. Разностный сигнал усиливается и подается в виде тока в катушки обратной связи датчика момента, который компенсирует измеряемую величину с помощью главной отрицательной обратной связи.

Датчик момента стремится выровнять рассогласование рабочих емкостей с заданным контурным коэффициентом обратной связи. В акселерометрах с интегратором в контуре (астатизмом) датчик момента перемещает маятник до тех пор, пока выходное напряжение датчика угла не будет равно 0 [2].

Механизм образования вибропогрешности

Рассмотрим поведение датчика угла при максимальном перемещении маятника.

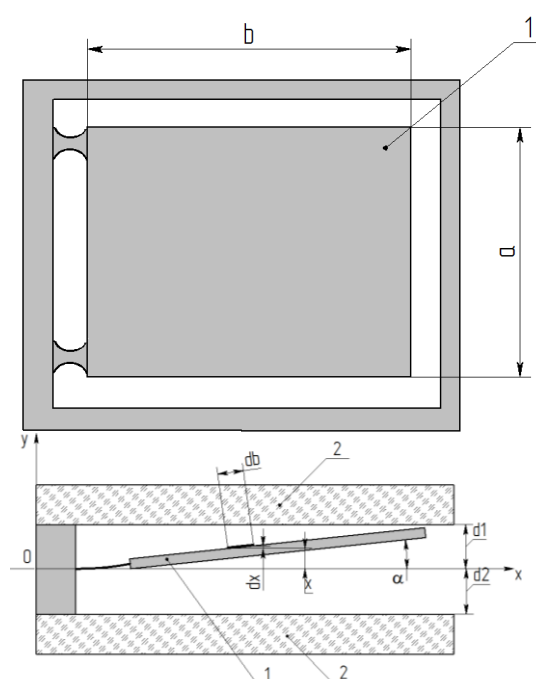


Рис. 3. Геометрические размеры чувствительного элемента:

1 – маятник ЧЭ; 2 – неподвижные обкладки ДУ

В соответствии с рис. 3 начальные емкости ДУ равны:

$$C_1 = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot S}{d_1}, \quad C_2 = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot S}{d_2} \quad (1)$$

где S – площадь обкладки ($S=a \times b$, где a – ширина обкладки, b – ее длина); ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ϵ – диэлектрическая проницаемость; d_1 , d_2 – начальные расстояния между обкладками.

Под действием линейного ускорения маятник прогибается на некоторый угол α , изменяя при этом рабочие емкости. Емкость элементарного участка db будет:

$$dC_1 = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot db \cdot a}{d_1 - x}, \quad dC_2 = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot db \cdot a}{d_2 + x},$$

где $db = dx \cdot \sin(\alpha)$, поэтому

$$dC_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{dx}{d_1 - x}, \tag{2}$$

$$dC_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{dx}{d_2 + x}, \tag{3}$$

Обозначая $\frac{dx}{d_1 - x} = \frac{dX_1}{X_1}$, $\frac{dx}{d_2 + x} = \frac{dX_2}{X_2}$, проинтегрировав формулы (1) и (2) по всей площади рабочей емкости, получим:

$$C_1 = \int_0^{x_{\max}} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{dX_1}{X_1} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \ln\left(\frac{d_1}{d_1 - x_{\max}}\right), \tag{4}$$

$$C_2 = \int_0^{x_{\max}} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{dX_2}{X_2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot a}{\sin(\alpha)} \cdot \ln\left(\frac{d_2 + x_{\max}}{d_2}\right), \tag{5}$$

где $x_{\max} = b \cdot \sin(\alpha)$,

Выходное напряжение датчика угла при равных опорных резисторах $R_1 = R_2 = R$ определится, подставляя выражения (4), (5) в формулу (1):

$$U = k_{\text{yc}} \cdot \frac{\ln(d_1 - b \cdot \sin(\alpha)) - \ln(d_1) + \ln(d_2 + b \cdot \sin(\alpha)) - \ln(d_2)}{\ln(d_1 - b \cdot \sin(\alpha)) - \ln(d_1) - \ln(d_2 + b \cdot \sin(\alpha)) + \ln(d_2)} \cdot U_{\text{оп}}. \tag{6}$$

Рассмотрим частный случай, когда начальные емкости равны, т. е. $d_1 = d_2 = d$, тогда

$$U = k_{\text{yc}} \cdot \frac{\ln(d - b \cdot \sin(\alpha)) - 2 \ln(d) + \ln(d + b \cdot \sin(\alpha))}{\ln(d - b \cdot \sin(\alpha)) - \ln(d + b \cdot \sin(\alpha))} \cdot U_{\text{оп}}. \tag{7}$$

Максимальный угол, на который может отклониться маятник при действии ускорения изменяется от $-\alpha = \arctg\left(\frac{d}{b}\right)$ до $\alpha = \arctg\left(\frac{d}{b}\right)$. Принимая условные граничные условия начальных параметров рабочих емкостей получим графическую зависимость выходного напряжения датчика угла от действующего ускорения, изображенную на рис. 4.

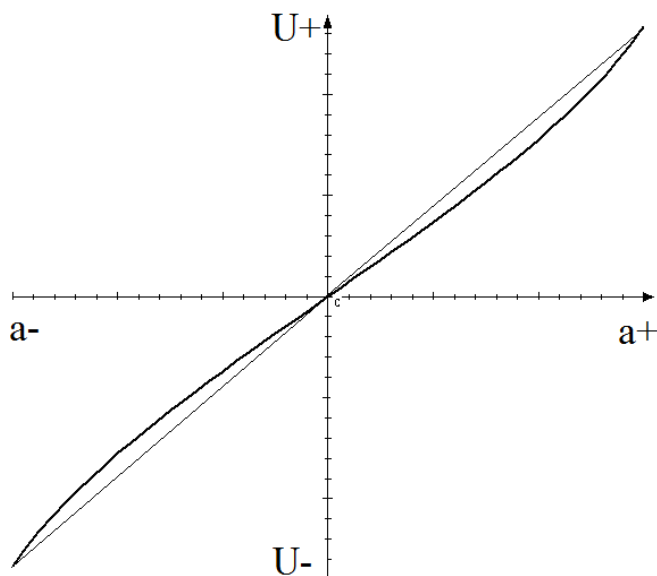


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала ДУ от ускорения при равных начальных зазорах рабочих емкостей:
 U_+ , U_- – максимальное, минимальное выходные напряжения датчика угла при изменении ускорения от a_- до a_+

Из рис. 4 следует, что датчик угла имеет нелинейную выходную характеристику, при этом погрешность от нелинейности при действии отрицательного ускорения равна погрешности при действии положительного ускорения.

Для определения численного значения нелинейности датчика угла, а также вибропогрешности в формулу (7) подставим реальные значения параметров рабочих емкостей акселерометра (табл. 1).

Таблица 1

Номинальные параметры рабочих емкостей

| Наименование параметра | Численное значение |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Ширина маятника | $a=10 \cdot 10^{-3}$ м |
| Длина маятника | $b=10 \cdot 10^{-3}$ м |
| Начальный зазор | $d_1=d_2=d=30 \cdot 10^{-6}$ м |
| Максимальное отклонение маятника | $\alpha=\arctg(d/b)=0,17^\circ$ |

В акселерометрах компенсационного типа за счет контурного коэффициента обратной связи датчик момента не дает отклоняться маятнику до упора, а в обратной связи с астатизмом перемещение маятника вообще отсутствует, поэтому нелинейность датчика угла проявляется после отключения астатизма и резкого уменьшения контурного коэффициента с частоты 150 Гц, где перемещение маятника составляет 20–30% от максимально возможного его отклонения.

При равных начальных зазорах выходное напряжение ДУ при максимальном отклонении угла будет $U_1 = 0,1536 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп}$

При действии ускорения амплитудой в два раза меньше перемещение маятника должно быть $\frac{1}{2} b \cdot \sin(\alpha)$. Тогда выходное напряжение ДУ будет $U_2 = 0,0758 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп}$. Нелинейность ДУ будет составлять $\frac{U_1 - 2 \cdot U_2}{U_1} = 1,3\%$.

Для определения вибропогрешности при такой нелинейности датчика угла предположим, что ускорение, а вследствие чего и угол отклонения маятника, изменяются по синусоидальному закону: $\alpha = \sin(\omega \cdot t)$, где ω – частота изменения угла α .

Зависимость выходного сигнала датчика угла от гармонического ускорения показана на рис. 5.

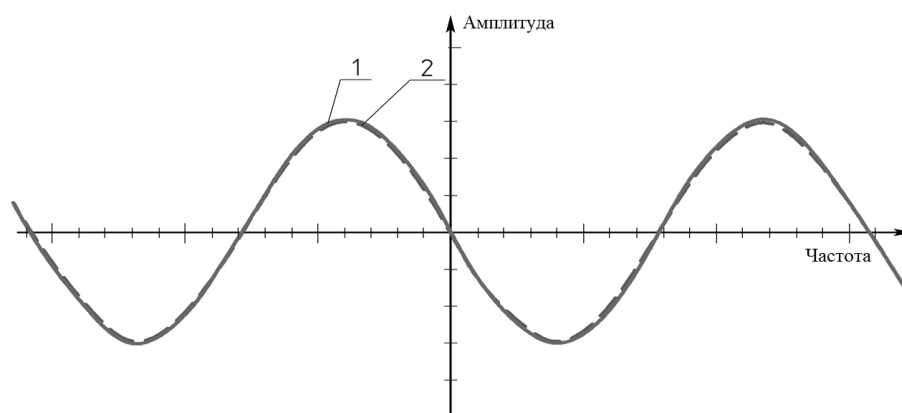


Рис. 5. Выходной сигнал ДУ при равных начальных зазорах рабочих емкостей при действии ускорения гармонического характера:
1 – выходной сигнал ДУ; 2 – действующее ускорение

Из рис. 5 видно, что датчик угла за счет своей нелинейности измеряет действующее

синусоидальное ускорение с некоторыми искажениями, но при этом не выделяет постоянной составляющей выходного сигнала, т.е. вибропогрешность отсутствует, что легко доказуемо при сравнении выходных сигналов ДУ при действии линейных ускорений одинаковой амплитуды, но противоположных по направлению. Подставляя в формулу (7) значения углов отклонения маятника при указанных ускорениях, получим

$$U_+ = 0,152 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп},$$

$$U_- = -0,152 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп},$$

где U_+ , U_- - выходные напряжения датчика угла при углах отклонения маятника, вызванных действием положительного и отрицательного ускорения соответственно.

$$U_{cp} = \frac{U_+ + U_-}{2} = 0.$$

Из формул следует, что среднее значение выходного сигнала ДУ, т.е. постоянная составляющая выходного сигнала при действии гармонического ускорения равна 0. Поскольку при равных начальных зазорах нулевой сигнал датчика угла также равен 0, то вибропогрешности не наблюдается.

Рассмотрим случай, когда начальные расстояния между обкладками рабочих емкостей не равны. Неравенство ёмкостных зазоров может быть обусловлено несколькими факторами:

- технологическим процессом изготовления кремниевого маятника, когда скорости травления с двух сторон маятника различны, поэтому высоты площадок, посредством которых кремниевый элемент соединяется со стеклянными обкладками, а в результате и рабочие зазоры будут не одинаковыми;

- соединением пакета стекло - кремний - стекло при электростатической сварке, при которой происходит деформация кремниевого маятника;

- неидеальностью электронного преобразователя, когда резисторы R_1 и R_2 , через которые заряжаются – разряжаются рабочие емкости, имеют разный номинал. Кроме основной функции резисторов, посредством которых опрашиваются рабочие емкости, они служат для регулировки начального нулевого сигнала акселерометра. Большой начальный нулевой сигнал, требующий регулировки, может быть вызван нулевыми сигналами электронных компонентов электрической схемы, паразитными емкостями по входам ШИМ, параллельных рабочим емкостям C_1 и C_2 , образующихся при соединении чувствительного элемента с электронным преобразователем.

Допуск на начальное значение нулевого сигнала в акселерометрах средней точности составляет 0,04% от диапазона измерения, а при действии максимального ускорения за счет обратной связи изменение зазора рабочих емкостей составляет 30% от начального зазора. На рис. 6 наблюдается нелинейность датчика угла при разных начальных рабочих зазорах, несимметричная и значительно большая, чем при равных начальных рабочих зазорах, составляющая 1,8%.

При измерении синусоидального ускорения (рис. 7) одна из рабочих емкостей датчика угла насыщается, что приводит к неполному повторению амплитуды измеряемого сигнала, тем самым вызывая погрешность измерения, за счет которой и появляется вибропогрешность акселерометра.

Подставляя в формулу (6) значения максимальных углов отклонения маятника при действии ускорений, противоположных по направлению, получим:

$$U_+ = 0,078138 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп} \quad (8)$$

$$U_- = -0,077893 \cdot k_{yc} \cdot U_{оп} \quad (9)$$

$$U_{cp} = \frac{U_+ + U_-}{2} = 0,122 \cdot 10^{-3} \cdot k_{yc} \cdot U_{оп}.$$

Начальный нулевой сигнал ДУ при неравенстве начальных рабочих зазоров определится:

$$U_0 = k_{yc} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \cdot U_{оп} = 0,119 \cdot 10^{-3} \cdot k_{yc} \cdot U_{оп}.$$

Отклонение выходного сигнала от начального нулевого сигнала датчика угла при действии гармонического ускорения и будет определять искомую вибропогрешность:

$$\Delta = U_0 - U_{cp} = 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot k_{yc} \cdot U_{on} \quad (10)$$

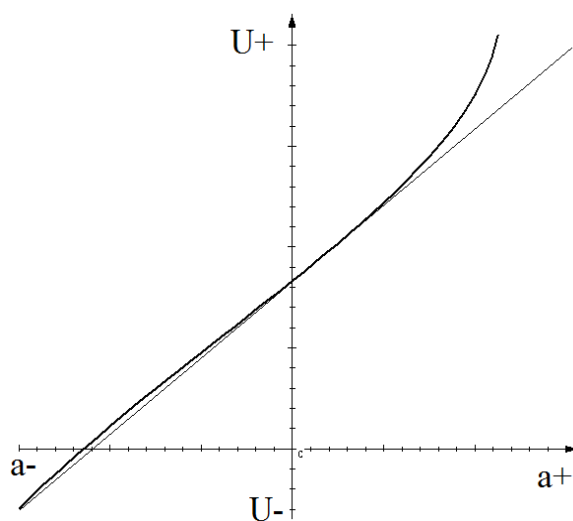


Рис. 6. Зависимость выходного сигнала ДУ от ускорения при разных начальных зазорах рабочих емкостей

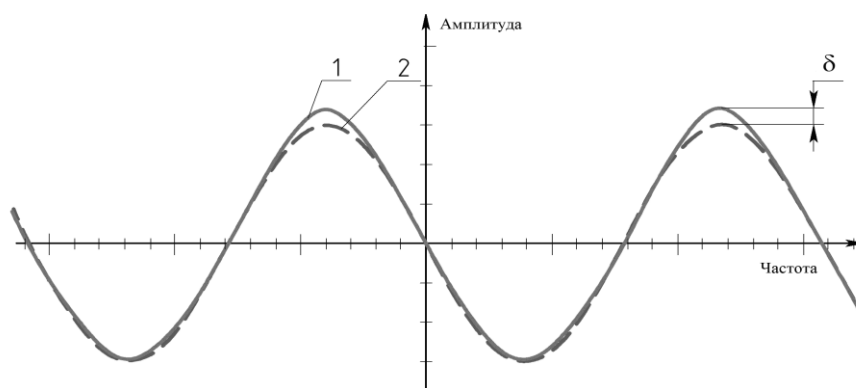


Рис. 7. Выходной сигнал ДУ при разных начальных зазорах рабочих емкостей при действии ускорения гармонического характера:

1 — выходной сигнал ДУ; 2 — действующее ускорение;

δ — погрешность ДУ при измерении ускорения

При диапазоне измерения акселерометра $\pm 50g$ и действии на него возмущающего воздействия в виде широкополосной вибрации стандартного спектра амплитудой $13,6g$ при нормальном законе распределения вероятность проявления ускорения амплитудой $40,8g$ составит $31,74\%$. Принимая во внимание, что воздействующая вибрация сравнима с диапазоном измерения, вибропогрешность акселерометра будет определяться как отношение отклонения по формуле 10 к выходному напряжению датчика угла, полученному при действии максимального ускорения из формул (8), (9):

$$\delta = \frac{\Delta}{|U_+| + |U_-|} \cdot 100\% = 4,7 \cdot 10^{-3}\%$$

Относительно воздействующего ускорения вибропогрешность определится

$$\delta = 4,7 \cdot 10^{-3}\% \cdot 40,8g = 1,91mg$$

В современных акселерометрах компенсационного типа допуск на погрешность от действия ШСВ или синусоидальной вибрации составляет 4,0–6,0 mg.

Метод уменьшения вибропогрешности

Уменьшить вибропогрешность акселерометра можно за счет сведения постоянной составляющей выходного сигнала акселерометра при действии вибрации к нулевому сигналу в отсутствие вредных воздействующих факторов путем подгонки регулировочных резисторов электронного преобразователя акселерометра. При рассогласовании резисторов происходит рассогласование рабочих емкостей за счет работы датчика момента обратной связи акселерометра, который, перемещая кремниевый маятник, изменяет зазоры в рабочих емкостях датчика.

Осуществление регулировки непосредственно при действии вибрации не представляется возможным. Поэтому для имитации вибрации необходимо с помощью звукового генератора подавать переменное напряжение определенной амплитуды и частоты в катушку датчика момента обратной связи акселерометра, которое будет перемещать маятник чувствительного элемента по синусоидальному закону. Фиксируя постоянную составляющую выходного сигнала акселерометра, необходимо найти максимальное ее отклонение от нулевого сигнала акселерометра, изменяя на генераторе частоту выходного напряжения, без изменения при этом его амплитуды. Найдя максимальное отклонение, т.е. максимальную вибропогрешность акселерометра, необходимо свести ее к минимуму, изменяя нулевой сигнал акселерометра путем изменения номинала того или иного регулировочного резистора.

Единственным недостатком указанного метода уменьшения вибропогрешности является вероятность того, что начальный нулевой сигнал акселерометра после регулировки будет не соответствовать предъявляемым техническим требованиям, т.е. выйдет за допускаемую величину. Поскольку при применении акселерометров и датчиковой аппаратуры в целом потребители стараются осуществлять в своих системах алгоритмическую компенсацию систематических погрешностей, то указанный недостаток не актуален.

Библиографический список

1. ГОСТ 24346-80. ВИБРАЦИЯ. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
2. **Вавилов, В.Д.** Интегральные датчики / В.Д. Вавилов. – Н. Новгород.: НГТУ, 2003. – 503 с.

*Дата поступления
в редакцию 10.07.2013*

A.A. Gavrilov¹, A.N. Shipunov²

VIBRATION STABILITY OF MEMS ACCELEROMETER

Arzamas polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state
technical university n.a. R.E. Alexeev¹
JSC ARPE «TEMP-AVIA», Arzamas²

Purpose: Detection of source of vibration errors in MEMS accelerometer, having capacitive-type angle sensor.

Findings: Principle of operation for accelerometer, including magneto-electric force-rebalance and capacitive angle sensor, is considered. An electrical circuit of electric unit is presented. Translation algorithm for angle sensor signals is given. An estimation of vibration error is obtained for accelerometer within a measuring range of $\pm 50g$ under sinusoidal vibration conditions.

Research: Zero offset of accelerometer because of capacitive angle sensor nonlinearity with initial capacitance difference is investigated.

Originally/value: A method of improving vibration stability for force-rebalance accelerometers is developed.

Topic: Vibration stability of MEMS accelerometer.

Key words: vibration, vibration stability, vibration error, accelerometer, angle sensor, momentum sensor, nonlinearity, vibration error reduction.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ

УДК 338.27.015

Ю.Ф. Орлов, Е.С. Митяков

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИНДИКАТОРОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложен алгоритм для анализа и прогнозирования динамики индикаторов экономической безопасности России, основанный на расчете интегральных индексов по различным проекциям экономической безопасности, с последующим составлением системы дифференциальных уравнений, описывающей совместную динамику этих индексов. Произведена верификация прогноза экономической безопасности на основе предложенного алгоритма.

Ключевые слова: экономическая безопасность, интегральные индексы экономической безопасности, анализ и прогнозирование экономической динамики, идентификация системы дифференциальных уравнений.

Происходящие изменения в международной ситуации обуславливают необходимость разработки новых подходов к анализу и прогнозированию уровня экономической безопасности России. Актуальность этого подтверждается рядом обстоятельств экзогенного и эндогенного характера. Поэтому экономическая безопасность в настоящее время является одним из наиболее динамично развивающихся разделов экономики. Разработка единого подхода к анализу и прогнозированию экономической безопасности регионов России довольно сложная процедура. Это обусловлено несколькими факторами. *Во-первых*, индикаторы взаимодействуют между собой и со временем меняются не только количественные параметры взаимодействий между индикаторами, но и сам характер этих взаимодействий. *Во-вторых*, система индикаторов экономической безопасности меняется со временем.

В статье предложен алгоритм для анализа и прогнозирования динамики индикаторов экономической безопасности России, основанный на расчете интегральных индексов по различным проекциям экономической безопасности, с последующим составлением системы дифференциальных уравнений, описывающей совместную динамику этих индексов.

Реализация предложенного алгоритма предполагает следующие этапы:

- 1) определение цели и задач исследования;
- 2) выбор системы индикаторов;
- 3) сбор данных;
- 4) нормировка индикаторов;
- 5) агрегирование информации;
- б) анализ и прогнозирование.

Процесс анализа и прогнозирования начинается с определения объекта, целей и задач исследования. На следующем этапе производится формирование системы индикаторов. В статье была выбрана система индикаторов экономической безопасности России, предложен-

ная в работе [1]. Индикаторы внутри данной системы сгруппированы по четырем проекциям: «Реальная экономика», «Социальная сфера», «Денежно-финансовая сфера» и «Внешнеэкономическая сфера».

На этапе сбора данных очень важны источник и единая периодичность поступления информации. На этапе нормировки все индикаторы становятся безразмерными. В общем случае можно выделить «эффектные» и «затратные» показатели. Рост первых ведет к увеличению, а рост вторых – к снижению уровня экономической безопасности. Поскольку пределы изменения большинства индикаторов определить достаточно трудно, для нормировки «эффектных» показателей использовалась нелинейная функция вида [2]:

$$y = \begin{cases} 2^{\left(1-\frac{a}{x}\right)/\ln\frac{10}{3}}, & \text{если } \frac{x}{a} > 1; \\ 2^{-\log_{10}\frac{a}{x}}, & \text{если } \frac{x}{a} \leq 1, \end{cases} \quad (1)$$

где x – реальное значение индикатора, a – его пороговое значение. Значение $x = a$ ($y = 1$) соответствует случаю равенства индикатора и его порогового значения; при $x > a$ ($y > 1$) индикатор превысил пороговый уровень; при $x < a$ ($y < 1$) индикатор находится ниже порога. Применительно к «затратным» показателям использовалась обратная нормировка. В результате нормировки индикаторы отображаются на ограниченную область L . В нашем случае областью L является отрезок $[0;1,67]$.

Отметим, что функция (1) непрерывна и монотонна (в точке $x = a$ обеспечивается равенство, как самих функций, так и их производных). Графический вид функции (1) приведен на рис. 1.

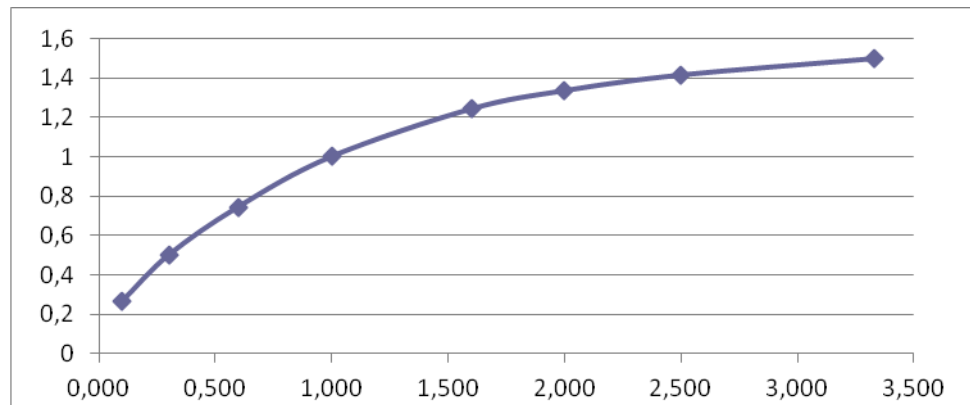


Рис. 1. Нелинейная функция (1). Аргументом является a/x . Асимптота $y = 1,67$

Использование функции (1) дает возможность расширить динамический диапазон визуализации результатов. Так, логарифмическая зависимость позволяет исследовать тонкую структуру индикаторов внутри сектора $y < 1$, в то время как, менее плавная, степенная зависимость позволяет игнорировать несущественные детали при значительном превышении индикаторами своих пороговых значений.

При агрегировании индикаторов в интегральные индексы по каждой из составляющих системы экономической безопасности вычисляются обобщенные индексы как сумма соответствующих нормированных по формуле (1) показателей с учетом их значимости:

$$x_i = \sum_{j=1}^n v_j y_{ij}; \sum_{j=1}^n v_j = 1, \quad (2)$$

где y_{ij} – j -й безразмерный индикатор i -й проекции, v_i – его вес, Для обработки методики индикаторы вошли в интегральный индекс с одинаковыми весами.

Заключительный этап реализации предложенного подхода заключается в решении задачи прогнозирования. Эта задача решена путем составления системы дифференциальных уравнений (СДУ), в которых переменными являются обобщенные индексы по различным проекциям системы экономической безопасности. Использование аппарата дифференциальных уравнений обусловлено тем, что, в отличие от традиционных методов прогнозирования, основанных на корреляционно-регрессионном анализе, в данном случае устанавливается взаимосвязь между переменными. Это дает возможность анализировать совместную динамику индексов.

В математической постановке рассматривается задача Коши для системы однородных дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = F(t, x), x(0) = x_0, \quad (3)$$

где x – вектор координат размерности n . Необходимо определить вид функции $F(x, t)$ по статистическим данным за фиксированный период времени.

Поставленная задача принадлежит к классу задач идентификации (обратных задач [3]), которые, как правило, являются некорректными. По определению, обратная задача поставлена условно корректно, если ее решение принадлежит некоторому подпространству гильбертова пространства (в нашем случае пространством является совокупность величин, изменяющихся во времени, а подпространством – отрезок L), на элементах которого справедлива априорная оценка [4]:

$$\|\varphi\|_L \leq M \|f\|_L, \quad (4)$$

где φ – решение задачи; f – правая часть; M – константа, $\|f\|_L < \infty$.

Предположим, что в (3) F – слабо нелинейная функция. Это допущение может быть оправдано тем, что в задачах идентификации (3) «погрешность оказывается минимальной для наиболее длинных волн возмущений и быстро растет в направлении высоких гармоник, как правило, описывающих мелкомасштабные особенности решений» [4] и на малых временных отрезках решения близки к линейным.

Пусть x^* – известный дискретный вектор системы (3), а \bar{x} – сглаженный непрерывный вектор в области L . Тогда в предположении о слабой нелинейности правой части, справедливо следующее соотношение:

$$F(t, \bar{x}) = A_t \bar{x} + \alpha(t, \bar{x}), \quad (5)$$

где $\|\alpha\|_L = o(\|A\|_L)$, A_t – некоторый линейный оператор. В этом случае задача сводится к построению линейного оператора A_t .

На первом этапе вычисляются коэффициенты корреляции между исходными векторами переменных. Это необходимо для того, чтобы определить направления взаимного влияния между параметрами системы.

На следующем этапе вычисляются аппроксимирующие сплайн-функции, их первые производные и уточняются периоды колебания обобщенных индексов. В данном алгоритме использован один из возможных подходов, основанный на аппроксимации статистических данных кубическими сплайнами по точкам и сглаживающими сплайнами. Использование кубического сплайна для анализа статистических данных позволяет оценить периодический характер переменных в задаче (3). Для решения задачи идентификации длиннопериодических решений использовалась кусочно-кубическая интерполяция со сглаживанием. В случае ярко выраженного колебательного характера процессов, коэффициенты c_{ij} матрицы A_t должны быть выбраны в форме первых членов тригонометрического ряда Фурье, а строка матрицы A_t принимает вид:

$$c_{1i} x_1 + c_{2i} x_2 + \dots + c_{ii} \cos\left(\frac{\pi t}{T_{2i}} + \theta_i\right) x_i + \dots + c_{in} x_n + c_{ii} \cos\left(\frac{\pi t}{T_{1i}}\right), \quad (6)$$

где T_{2i} и θ_i – период изменений и фаза измеренного вектора x_i^* соответственно; T_{1i} – период изменений, близкий к периоду цикла Жугляра (7-12 лет).

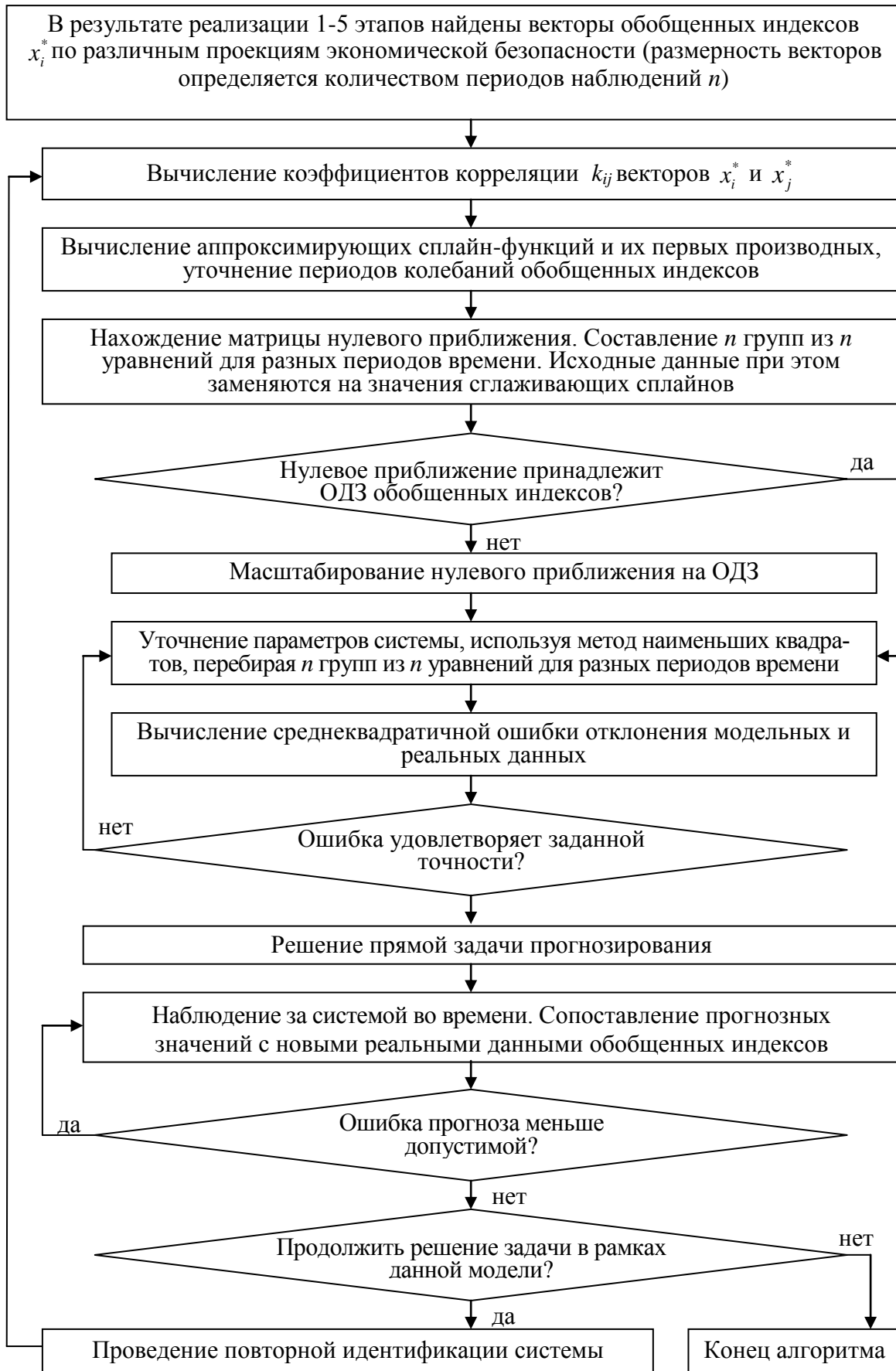


Рис. 2. Блок-схема адаптивного алгоритма идентификации параметров системы дифференциальных уравнений

На следующем шаге алгоритма находится матрица нулевого приближения. Для этого используется итерационный процесс подбора коэффициентов. Этот процесс будет сходиться, если нулевое приближение A_0 имеет решение на отрезке L , которое определяется значением векторов.

Далее в алгоритме проверяется условие принадлежности нулевого приближения области допустимых значений (ОДЗ) обобщенных индексов. Если полученная область L_0 шире области L допустимых значений x^* , то матрицу A_0 масштабируем и, повторно решая задачу, уточняем область L_0 .

На следующем шаге алгоритма методом наименьших квадратов уточняются периоды T_{2i} , T_{1i} и поправочные коэффициенты d_{ij} . Для этого используется метод дихотомии, позволяющий найти коэффициенты исходной системы уравнений. Далее вычисляется среднеквадратичная ошибка расхождения модельных и исходных данных. Если изменение коэффициента привело к уменьшению среднеквадратичной ошибки, то вычислительный эксперимент повторяется с тем же шагом в ту же сторону до тех пор, пока дисперсия не начнет расти. В итоге получается явный вид функции $F(x, t)$ в задаче (3) в виде матрицы A_t .

Следующим этапом алгоритма является решение прямой задачи, которая заключается в интегрировании системы дифференциальных уравнений и использовании полученного решения для прогнозирования поведения обобщенных индексов развития социально-экономической системы.

Поскольку данных статистики мало, в процессе наблюдения за системой в случае недопустимого расхождения исходных и модельных данных можно провести повторную идентификацию системы. Как только появляются новые данные, целесообразно сопоставление полученных по методике прогнозных значений с реальными данными обобщенных индексов. На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма.

Для оценки достоверности прогноза необходимо провести процедуру верификации. На рис. 3–6 приведены результаты моделирования. При решении задачи идентификации использовались ряды данных интегральных индексов за 2000–2009 гг. Эти данные отложены на рисунках круглыми маркерами. Результаты моделирования, включая прогноз, отображены сплошными линиями (модель). После опубликования в начале 2013 года статистических данных, позволивших рассчитать обобщенные индексы по проекциям экономической безопасности, появилась возможность верификации модели прогнозирования путем сопоставления результатов прогнозных значений с фактическими характеристиками объекта прогнозирования за 2010–2011 год. На рисунках соответствующие данные отражены с помощью символа «x».

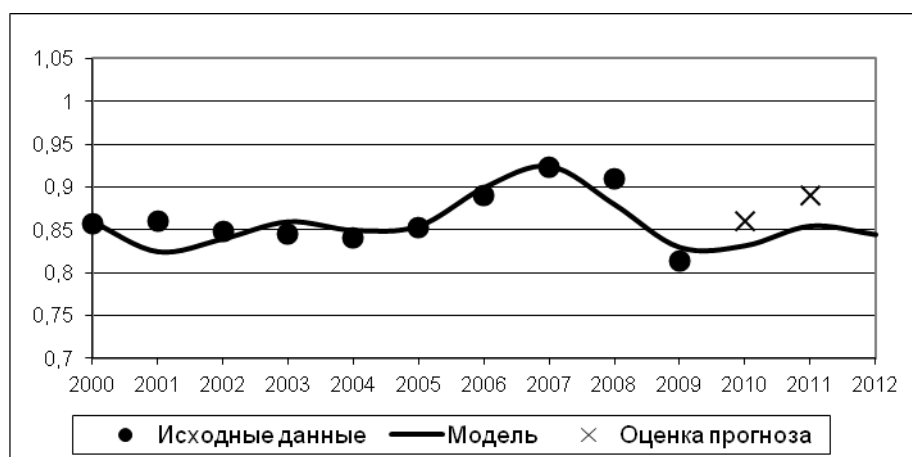


Рис. 3. Пример моделирования и верификации прогноза экономической безопасности России для проекции «Реальная экономика»

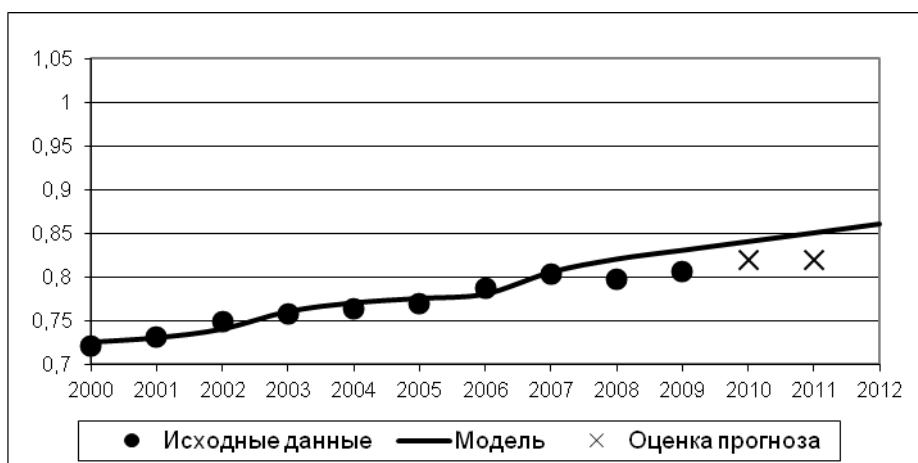


Рис. 4. Пример моделирования и верификации прогноза экономической безопасности России для проекции «Социальная сфера»

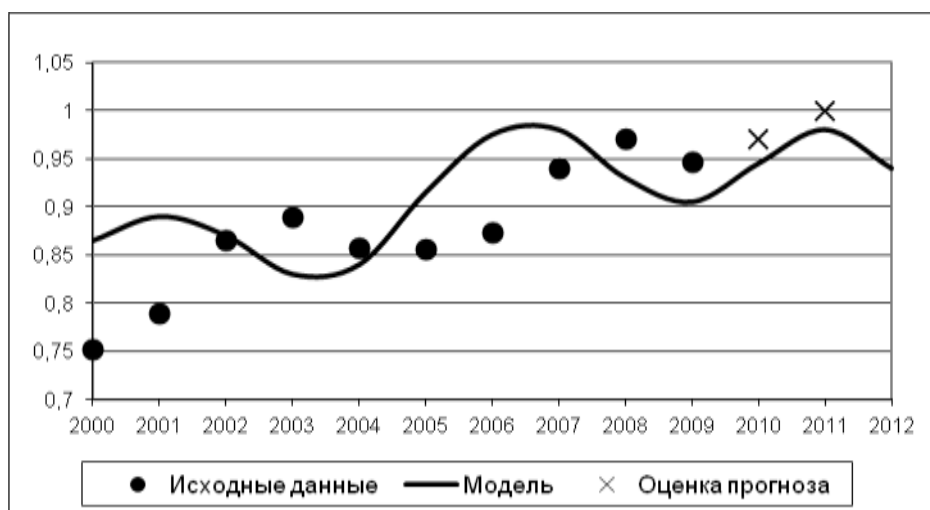


Рис. 5. Пример моделирования и верификации прогноза экономической безопасности России для проекции «Денежно-финансовая сфера»

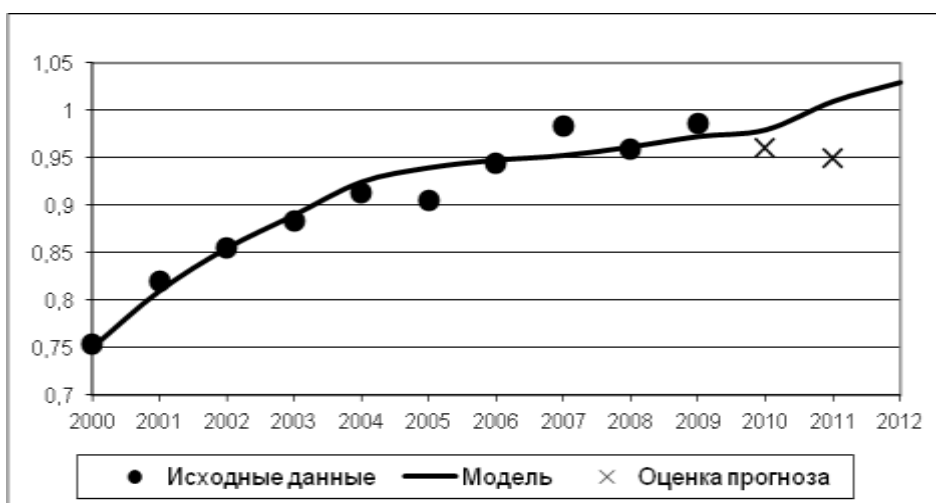


Рис. 6. Пример моделирования и верификации прогноза экономической безопасности России для проекции «Внеэкономическая сфера»

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Данные за 2010-2011 год в целом удовлетворительно соответствуют прогнозным значениям.

2. Наиболее устойчиво развиваются две сферы – внешнеэкономическая и социальная. При этом индекс внешнеэкономической сферы достигает порогового значения уже к 2011 году. Индекс социальной сферы от порога еще далек, хотя и демонстрирует медленный рост.

3. Сфера реальной экономики и денежно-финансовая сфера демонстрируют большую дисперсию и волнообразные изменения с периодом 1,5-3 года, причем в последние годы они развиваются в противофазе. В этих же сферах наблюдаются более значительные ошибки прогнозирования. Экономический кризис особенно сильно повлиял на показатели реальной экономики. Наиболее значимым было резкое изменение индикатора «Среднегодовые темпы прироста ВВП», который в 2009 году изменил знак, а в 2010-2011 – вновь восстановил прежнюю динамику. Такие резкие изменения повлияли и на качество прогноза.

4. В целом верификация показала вполне удовлетворительное совпадение реальных и прогнозируемых значений обобщенных индексов, что позволяет сделать вывод о возможности применения разработанного инструментария для прогнозирования состояния системы экономической безопасности страны. Для увеличения точности прогнозов следует использовать адаптивный алгоритм идентификации параметров.

Дальнейшее развитие математического аппарата может быть связано с введением в систему уравнений запаздывания и управления. Это приблизит к решению задачи выработки оптимальных управляющих воздействий с целью достижения и поддержания необходимых уровней экономической безопасности, определяемых пороговыми значениями соответствующих показателей.

Таким образом, в статье предложен метод моделирования динамики индикаторов экономической безопасности. Разработан алгоритм идентификации параметров системы дифференциальных уравнений, основанный на сплайн-аппроксимации, позволяющий выявлять взаимосвязи между обобщенными индексами и делать среднесрочные прогнозы динамики социально-экономических систем. Данный алгоритм был апробирован в задачах стратегического анализа и прогнозирования поведения системы индикаторов экономической безопасности России.

Библиографический список

1. **Сенчагов, В.К.** Экономическая безопасность России: общий курс: учебник / В.К. Сенчагов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 815 с.
2. **Сенчагов, В.К.** Экономическая безопасность регионов России / В.К. Сенчагов [и др.]. – Н.Новгород: Растр-НН, 2012.
3. **Ружников, Г.М.** Идентификация линейных нестационарных систем // Асимптотические методы в теории систем. – Иркутск, 1973. Вып. 5. С. 175–180.
4. **Марчук Г.И.** Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1977. – 456 с.

Дата поступления
в редакцию 05.06.2013

Y. F. Orlov, E. S. Mityakov

ALGORITHM FOR ANALYSIS AND FORECASTING OF THE BEHAVIOR OF RUSSIA'S ECONOMIC SECURITY INDICATORS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article proposes an algorithm for analysis and forecasting of the behavior of Russia's economic security indicators based on the computation of integral indices by various economic security projections with further generation of a differential equation system that would describe the common behavior of such indices. The proposed algorithm was used as a basis for the economic security forecast verification.

Key words: economic security, economic security integral indices, analysis and forecasting of economic dynamics, differential equation system identification.

УДК 616.831-005.4-008.9

А.Н. Мошкова¹, Т.Ф. Сергеева², Е.М. Хватова²**МЕТОД ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ОЛИГОМЕРНЫХ ФОРМ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ КРЕАТИНКИНАЗЫ ПРИ ИШЕМИИ МОЗГА**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева¹,
Нижегородская государственная медицинская академия Минздрава России²

Цель: использование метода эмпирических зависимостей для возможного прогнозирования динамики изменения активности олигомерных форм митохондриальной креатинкиназы при ишемии мозга.

Методология: в работе использован математический метод эмпирических зависимостей для оценки и прогнозирования функционального состояния мозга по изменению активности олигомерных форм митохондриальной креатинкиназы, коррелирующей со степенью тяжести ишемического повреждения.

Результаты и область их применения: построена модель множественной регрессии, позволяющая расчетным способом выявить динамику изменения активности изоферментов креатинкиназы при развитии ишемии мозга. Применение математического моделирования в биологических задачах позволяет разрабатывать расчетные способы получения информации об энергетическом состоянии головного мозга в условиях нарушения кислородного режима, которые могут быть использованы в экспериментальных лабораториях, изучающих влияние гипоксии на жизнедеятельность организма.

Выводы: в результате проведенных исследований получена модель множественной регрессии, хорошо аппроксимирующая зависимость активности мембраносвязанной митохондриальной креатинкиназы от активности ее димерной формы в разных условиях нарушения гемодинамики мозга животных.

Ключевые слова: креатинкиназа, ишемия, модель множественной регрессии.

Введение

Гипоксия и ишемия оказывают существенное повреждающее воздействие на состояние головного мозга. Для разработки способов защиты от гипоксии и ее последствий требуется создание алгоритма оценки и прогнозирования энергетического состояния нервной ткани в экстремальных условиях, а также прогнозирование эффективных режимов тренировки, формирующих устойчивую адаптацию мозга к повреждающим воздействиям дефицита кислорода. Применение методов математического моделирования в решении биологических задач дает возможность получать информацию о состоянии изучаемых процессов и систем, сокращая время экспериментальной работы, экономя дорогостоящие реактивы и сохраняя жизнь животных. При этом возможно установление количественных отношений между отдельными элементами систем, что позволяет описать поведение исследуемых систем как единого целого [1].

Работа посвящена подходам к прогнозированию динамики развития процессов и биологических систем под влиянием воздействия окружающей среды. Одним из таких подходов может быть метод Монте-Карло статистического моделирования, основанный на идее «черного ящика», когда поведение системы изучается по входным и выходным параметрам без происходящих в ней процессов.

В случае сложноорганизованных систем, какой является мозг, такой формальный подход в начале исследования может оказаться единственным средством получить информацию о существующих в системе взаимодействиях и сделать первый шаг к проникновению в механизмы изучаемого явления.

Использование моделей множественной регрессии, объединяющих различные характеристики метаболических процессов мозга при гипоксических и ишемических повреждени-

ях, позволяет получать информацию об энергетическом балансе мозга и прогнозировать функциональное состояние мозга в экстремальных условиях жизнедеятельности и адаптации к неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

Целью настоящего исследования является оценка показателей олигомерных форм митохондриальной креатинкиназы (МКК) при ишемии разной продолжительности и использование метода эмпирических зависимостей для возможного прогнозирования динамики изменения ее активности.

На практике оценка состояния энергетического метаболизма мозга является ключевым моментом при ведении пациентов с острой и хронической ишемией.

Выяснение молекулярных механизмов действия ишемии на интегральные системы энергетического обмена нервной ткани имеет большое значение для разработки эффективных методов прогнозирования и оценки изменений, вызванных нарушением мозгового кровообращения.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что МКК мозга присутствует в форме димера и октамера (71% и 29 % соответственно). Ишемия головного мозга приводит к изменению активности олигомерных форм МКК (табл. 1).

При острой ишемии головного мозга (30 минут) происходит снижение активности мембраносвязанной МКК на 27% по сравнению с интактными животными, при этом активность димерной формы фермента уменьшается на 16% относительно исходного уровня и доля димера увеличивается с 71 до 81%, что указывает на диссоциацию части октамеров на димеры. При увеличении продолжительности ишемии до 3 суток активность димера МКК растет до исходного уровня. Дальнейшее увеличение продолжительности ишемического воздействия до 7 и 30 суток приводит к росту активности фермента как относительно острой ишемии, так и относительно интактных животных, при этом при 30-дневной ишемии активность димера составляет 93% от общей активности мембраносвязанной МКК.

Таблица 1

Распределение активности олигомерных форм митохондриальной креатинкиназы при ишемии головного мозга (Е/мг белка)

| Условия эксперимента | Мембраносвязанная митохондриальная креатинкиназа (y) | Димерная форма митохондриальной креатинкиназы (x) |
|------------------------|--|---|
| Интактные животные | 0,540±0,031 n = 35 | 0,384±0,026 n = 35 |
| Ишемия мозга, 30 минут | 0,396±0,029* n = 26 | 0,322±0,023 n = 26 |
| Ишемия мозга, 3 суток | 0,500±0,028** n = 14 | 0,377±0,033 n = 14 |
| Ишемия мозга, 7 суток | 0,576±0,030** n = 12 | 0,459±0,040** n = 12 |
| Ишемия мозга, 30 суток | 0,583±0,079** n = 9 | 0,544±0,061*/** n = 9 |

Примечание: * - статистически значимые различия по сравнению с интактными животными, $p < 0,05$ (по критерию Стьюдента);

** - статистически значимые различия по сравнению с 30-минутной ишемией, $p < 0,05$ (по критерию Стьюдента).

По данным литературы, октамерная форма МКК способствует образованию и укреплению контактных сайтов, тем самым повышая эффективность энергообразования в митохондриях мозга, укрепляя структуру мембран и формируя их резистентность к повреждаю-

щему действию гипоксии [10]. Диссоциация октамеров МКК на димеры при нарушении гемодинамики мозга может указывать на нарушение структуры мембраны митохондрий и энергетического метаболизма мозга.

Исследование функционального состояния организма, изучение его нейрогуморальных механизмов регуляторных процессов адаптации расширяют арсенал используемых методов математического моделирования. В последнее время большое внимание уделяется изучению сущности процессов регуляции, заключающихся в непрерывном обмене информацией, заложенной в ритмической активности мозга и сердца с использованием аппарата нелинейной динамики [6]. Проводится исследование возможностей методов церебральной оксиметрии для оценки кислородного обеспечения головного мозга при патологиях, связанных с гипоксическими состояниями и локальными циркуляторными нарушениями [7, 8].

Для прогнозирования активности олигомерных форм МКК при церебральной ишемии в нашей работе применялся метод эмпирических зависимостей.

Специфика работы биосистем не позволяет строго в математическом смысле выделить однозначные и многозначные функциональные зависимости. В этом случае имеет место биологическая многозначность, не соответствующая понятию многозначной функции. Почти всегда при исследовании биосистем имеется однозначная функциональная зависимость между аргументом (входным параметром системы) и усредненным значением исследуемого показателя (выходным параметром системы). Для биосистем обычно аргумент не является абстрактным, ему приписывается тот или иной смысл (химический, физический, геометрический, биологический). В этом случае область определения функции связывается с биологически допустимыми границами аргумента.

В данной работе для решения задачи прогнозирования динамики изменения функционирования креатинкиназной системы мозга животных под влиянием ишемического воздействия использовалось статистическое моделирование по методу Монте-Карло, средством которого являлась функциональная зависимость между аргументом « x » – активностью димерной формы МКК, выраженной в Е/мг белка и « y » – активностью мембраносвязанной МКК, выраженной в Е/мг белка, которая для интактных животных принимала вид полинома третьей степени $y = a_0x^3 + a_1x^2 + a_2x + a_3$. Коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 находились методом наименьших квадратов, и функция, аппроксимирующая зависимость между активностью мембранной МКК (y) и димерной ее формой (x), принимала вид:

$$y = -5,1252x^3 + 7,946x^2 - 2,2509x + 0,496. \quad (1)$$

Таблица 2

Некоторые расчетные значения активности мембраносвязанной митохондриальной креатинкиназы (y) по теоретически заданной активности ее димерной формы (x) в мозге интактных животных

| Экспериментальная активность димерной формы МКК (x) | Экспериментальная активность мембраносвязанной МКК (y) | Теоретически заданные активности « x » | Рассчитанная активность « y » |
|---|--|--|---------------------------------|
| 0,316 | 0,420 | 0,315 | 0,415516 |
| 0,320 | 0,420 | 0,320 | 0,421740 |
| 0,345 | 0,586 | 0,325 | 0,428115 |
| | | 0,330 | 0,434638 |
| | | 0,335 | 0,441305 |
| | | 0,340 | 0,448111 |
| 0,448 | 0,528 | 0,448 | 0,621856 |
| 0,457 | 0,604 | 0,457 | 0,637383 |
| 0,487 | 0,646 | 0,466 | 0,654259 |
| 0,487 | 0,640 | 0,475 | 0,670661 |
| | | 0,484 | 0,687168 |
| | Среднее 0,549 | | Среднее 0,533 |

Областью определения этой функции является интервал $0,36 \leq x \leq 0,41$, при этом область изменения функции принадлежит интервалу $0,51 \leq y \leq 0,6$ (табл. 1). По модели (1) можно производить расчет активности мембраносвязанной МКК (y) по активности димерной ее формы (x), соответствующих интервалу активности этого фермента в мозге интактных животных.

Относительная ошибка расчета среднего значения «у» по сравнению со средним экспериментальным составляет 2,96%.

Представляем некоторые результаты расчета активности мембраносвязанной МКК по формуле (1) в табл. 2.

Расчетные значения «у» в этом случае укладываются в интервал экспериментальных активностей этого фермента, и функция (1) хорошо объединяет зависимые показатели креатинкиназной системы в группе интактных животных.

Многочлен $y = a_0x^3 + a_1x^2 + a_2x + a_3$ хорошо объединял экспериментальные показатели (x_k, y_k) ($k=1,2,\dots,n$) и в каждом опыте, связанном с ишемическим воздействием разной продолжительности (30 мин, 18 ч, 3, 7, 14, 30 суток). Коэффициенты a_0, a_1, a_2, a_3 находились методом наименьших квадратов. Анализируя числовые значения a_0, a_1, a_2, a_3 аппроксимирующего многочлена, удалось установить, что они меняются от продолжительности ишемического воздействия. Следовательно, a_0, a_1, a_2, a_3 могут рассматриваться, в свою очередь, как функции нового аргумента « t », характеризующего время нарушения гемодинамики мозга, т.е. $a_i = \varphi_i(t)$ ($i=0,1,2,3$).

На следующем этапе исследования требовалось подобрать вид зависимости $a_i = \varphi_i(t)$ ($i=0,1,2,3$) и входящие в нее параметры так, чтобы модель двухфакторных переменных « x » и « t » $y(x,t) = \varphi_0(t)x^3 + \varphi_1(t)x^2 + \varphi_2(t)x + \varphi_3(t)$ наилучшим образом связывала входные и выходные параметры (x, y) креатинкиназной системы в любой экспериментальной ситуации, зависящей от « t ».

Геометрическая интерпретация зависимостей $a_i = \varphi_i(t)$ ($i=0,1,2,3$) дала серию кривых в декартовой системе координат, каждую из которых можно описать следующими аналитическими выражениями: $\varphi_i(t) = (A2)_i + (A0)_i \cdot \cos \frac{(A1)_i}{t}$ ($i = 0,1,2,3$), коэффициенты $(A0)_i, (A1)_i, (A2)_i$ которых находили из решения системы трансцендентных уравнений методом последовательных приближений.

Таким образом, функция, аппроксимирующая зависимость между активностями мембраносвязанной МКК (y) и димерной ее формой (x), принимала вид:

$$\begin{aligned}
 y(x,t) = & (1,0827799 + 16,1959389 \cdot \cos \frac{23223,8318500}{t})x^3 + \\
 & + (-5,9020531 - 20,5440987 \cdot \cos \frac{23356,4667000}{t})x^2 + \\
 & + (-7,6557397 + 18,2582667 \cdot \cos \frac{22257,5391500}{t})x + \\
 & + (0,1016078 - 1,0884691 \cdot \cos \frac{4386,602800}{t}),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где x – первая факторная переменная – активность димерной формы МКК, выраженная в Е/мг белка; t – вторая факторная переменная – время ишемического воздействия, выраженное в часах; $y(x,t)$ – зависимая переменная – активность мембраносвязанной МКК, выраженная в Е/мг белка, соотнесенная к часам.

Таблица 3

**Активность мембраносвязанной митохондриальной креатинкиназы
экспериментально установленная и рассчитанная по формулам
в разных условиях ишемии**

| Условия эксперимента | Экспериментальная активность мембраносвязанной МКК (y_3) | Экспериментальная активность димерной формы МКК (x_3) | Теоретически заданные активности «х» | Рассчитанная активность «у» | Относительная ошибка расчета |
|------------------------------------|--|---|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Интактные животные | 0,540±0,031 | 0,384±0,026 | 0,384 | 0,513435 | Ср. 4,92% |
| Ишемия 30 мин (0,5 ч) | 0,356 | 0,161 | 0,200 | 0,467874 | Ср. 18,5% |
| | 0,412 | 0,277 | 0,211 | 0,508634 | |
| | 0,584 | 0,277 | 0,222 | 0,554164 | |
| | 0,450 | 0,298 | 0,233 | 0,604571 | |
| | Ср. 0,4505 | Ср. 0,253 | Ср. 0,21665 | Ср. 0,5338 | |
| Ишемия 3-7 суток (72-168 ч) | 0,511 | 0,513 | 0,519 | 0,369724 | Ср. 1,38% |
| | 0,468 | 0,465 | 0,530 | 0,451411 | |
| | 0,514 | 0,408 | 0,541 | 0,534720 | |
| | 0,561 | 0,542 | 0,552 | 0,619612 | |
| | 0,659 | 0,539 | 0,563 | 0,706055 | |
| | 0,550 | 0,509 | | | |
| | Ср. 0,5438 | Ср. 0,496 | Ср. 0,541 | Ср. 0,536304 | |
| Ишемия 12-14 суток (220,5-300,5 ч) | 0,4778 | 0,3247 | 0,200 | 0,222188 | Ср. 13,3% |
| | 0,491 | 0,2349 | 0,211 | 0,217526 | |
| | 0,644 | 0,116 | 0,222 | 0,214253 | |
| | 0,244 | | 0,233 | 0,212335 | |
| | Ср. 0,4642 | Ср. 0,2252 | 0,244 | 0,211743 | |
| | | | 0,310 | (Ср. 0,215609) | |
| | | | 0,321 | 0,629692 | |
| | | | 0,332 | 0,606456 | |
| | | | 0,343 | 0,579200 | |
| | | | 0,354 | 0,547941 | |
| | | | 0,365 | 0,512699 | |
| | | | Ср. 0,2628 | 0,473492 | |
| | | | | (Ср. 0,558280) | |
| | | | Общ. ср. 0,4025 | | |
| Ишемия 25-30 суток (600,5-720 ч) | 0,679 | 0,341 | 0,343 | 0,784604 | Ср. 16,9% |
| | 0,639 | 0,544 | 0,387 | 0,843157 | |
| | 0,611 | 0,647 | 0,398 | 0,856627 | |
| | 1,178 | 0,769 | 0,585 | 1,105427 | |
| | 1,071 | 0,812 | 0,596 | 1,125866 | |
| | | | 0,607 | 1,147465 | |
| | Ср. 0,5626 | Ср. 0,8356 | Ср. 0,486 | Ср. 0,977191 | |

Адекватность модели (2) поставленной задаче доказывалась расчетом коэффициента детерминации R^2 , величина которого соответствовала интервалу 0,91-0,98. Значения R^2 , близкие к 1, свидетельствовали о наличии тесной корреляционной связи между выбранными показателями и о соответствии представленной функции (2) экспериментальным показателям. Прогностическая способность построенной модели проверялась расчетом активности мембраносвязанной МКК по экспериментально установленной активности димерной ее формы с

последующей проверкой дополнительно поставленным экспериментом (ишемия 14 суток) либо литературными данными. Близкое значение активности мембраносвязанной МКК мозга (0,600 Е/мг белка) было получено J. Schlegel с сотр. (1988) [9]. Критерием соответствия служила относительная ошибка расчета, которая не должна была превышать 20% [2].

Аналитические значения активности мембраносвязанной МКК в этом случае были сопоставимы с экспериментальными. Относительная ошибка расчета колебалась в пределах 1-18,5%, что соответствовало критерию «работающая модель». Экспериментальные значения выбранных показателей и рассчитанные активности димерной формы МКК представлены в табл. 3.

Таким образом, модель $y(x, t) = \varphi_0(t)x^3 + \varphi_1(t)x^2 + \varphi_2(t)x + \varphi_3(t)$,

где $\varphi_i(t) = (A2)_i + (A0)_i \cdot \cos \frac{(A1)_i}{t}$, представленная функцией (2), хорошо аппроксимирует ко-

личественную зависимость активности мембраносвязанной МКК от димерной ее формы в мозге животных при ишемии разной продолжительности. Она показывает тесную корреляционную связь между выбранными показателями и имеет хорошую прогностическую способность для оценки тяжести ишемического воздействия.

Ранее метод эмпирических зависимостей был использован нами для анализа и прогнозирования активности ферментов дыхательной цепи, начального и конечного его участков, для оценки и прогнозирования концентрации АТР по функции митохондриальных ферментных комплексов, для прогнозирования содержания АМР в системе адениновых нуклеотидов и т.д. [3, 4, 5].

В этих исследованиях было установлено, что существующую причинно-следственную связь между перечисленными показателями энергетического состояния мозга можно аппроксимировать суперпозицией элементарных гладких функций вида

$$y(x, z) = \varphi_0(z)x^3 + \varphi_1(z)x^2 + \varphi_2(z)x + \varphi_3(z),$$

где z – переменная, характеризующая степень тяжести гипоксического воздействия; (x, y) – показатели энергетического метаболизма мозга; $\varphi_i(z) = (A2)_i + (A0)_i \cdot \cos \frac{(A1)_i}{z}$ ($i = 0, 1, 2, 3$) – функции переменной « z », обозначающей показатель экстремального воздействия окружающей среды.

Рассчитанные методом последовательных приближений коэффициенты $(A0)_i$, $(A1)_i$, $(A2)_i$ ($i = 0, 1, 2, 3$) формулы (2) отличались от значений коэффициентов, представленных в моделях аппроксимации зависимости других показателей энергетического состояния мозга при нарушении кислородного режима [3, 4, 5]. Это дает возможность предположить, что $(A0)_i$, $(A1)_i$, $(A2)_i$ ($i = 0, 1, 2, 3$) являются функциями вида экстремального воздействия и модель

$$y(x, z) = \varphi_0(z)x^3 + \varphi_1(z)x^2 + \varphi_2(z)x + \varphi_3(z), \text{ где } \varphi_i(z) = (A2)_i + (A0)_i \cdot \cos \frac{(A1)_i}{z} (i = 0, 1, 2, 3),$$

можно усовершенствовать и использовать для прогнозирования и оценки тяжести повреждающего действия окружающей среды на жизнедеятельность организма. Это составляет следующий этап нашей работы.

Библиографический список

1. Дромашко, С.Е. Информатика в естествознании: методологические аспекты моделирования // Проблемы создания информационных технологий. 1999. Вып. 3. С. 29-35.
2. Мари, Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии – лекции о моделях / Дж. Мари. – М.: Мир, 1983. – 400 с.
3. Мошкова, А.Н. Использование эмпирических зависимостей в системе адениновых нуклеотидов для прогнозирования содержания АМФ в мозге при гипоксии / А.Н. Мошкова, Е.М. Хватова // Вопр. мед. химии. 2001. Т. 47. № 6. С. 605–608.

4. **Мошкова, А.Н.** Прогнозирование активности ферментов в экстремальных условиях жизнедеятельности организма: применение математических методов анализа / А.Н. Мошкова, Е.М. Хватова, И.А. Русакова // *Нейрохимия*. 2002. Т. 19. № 4. С. 293–296.
5. **Мошкова, А.Н.** Исследование зависимости цитохромоксидазной активности от NADH-дегидрогеназной активности в дыхательной цепи митохондрий мозга кролика в экстремальных условиях жизнедеятельности организма / А.Н. Мошкова, Е.М. Хватова, И.А. Русакова // *Нейрохимия*. 2004. Т. 21. № 2. С. 121–124.
6. **Муха, Ю.П.** Синтез категорной модели информационных потоков управления сердечным ритмом для оценки адаптационных возможностей организма на основе RR-интервалов / Ю.П. Муха, А.П. Бугров // *Биомедицинская технология и радиоэлектроника*. 2006. № 4. С. 40–46.
7. **Сафонова, Л.П.** Церебральная оксиметрия в оценке гипоксических состояний и нарушений мозгового кровообращения // *Биомедицинская технология и радиотехника*. 2006. № 10. С. 56–57.
8. **Стулин, И.Д.** Современная комплексная неинвазивная диагностика смерти мозга / И.Д. Стулин, Р.С. Мухин, А.Д. Шибалев [и др.] // *Нейродиагностика и высокие биомедицинские технологии*. 2006. № 1. С. 18–26.
9. **Schlegel, J.** Native mitochondrial creatine kinase forms octameric structures. I. Isolation of two interconvertible mitochondrial creatine kinase forms, dimeric and octameric mitochondrial creatine kinase: characterization, localization, and structure-function relationships / J. Schlegel, B. Zurbriggen, G. Wegmann [et al.] // *J. Biol. Chem.* 1988. Vol. 263. N 32. P. 16942–16953.
10. **Speer, O.** Octameric mitochondrial creatine kinase induces and stabilizes contact sites between the inner and outer membrane / O. Speer, T. Buerklen, D. Brdiczka [et al.] // *Biochem. J.* 2005. Vol. 385. P. 445–450.

*Дата поступления
в редакцию 05.06.2013*

A.N. Moshkova¹, T.F. Sergeeva², E.M. Khvatova²

**THE METHOD OF EMPIRICAL DEPENDENCES IN ESTIMATION
AND PREDICTION OF DYNAMICS OF THE ACTIVITY CHANGE
OF OLIGOMERIC FORMS OF MITOCHONDRIAL CREATINE KINASE
IN CEREBRAL ISCHEMIA**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev¹,
Nizhny Novgorod state medical academy²

Purpose: Use of the method of empirical dependences for the possible prediction of dynamics of the activity change of oligomeric forms of mitochondrial creatine kinase in cerebral ischemia.

Methodology: The mathematical method of empirical dependences for estimation and prediction of the functional state of the brain by the activity change of oligomeric forms of mitochondrial creatine kinase correlated with the severity of ischemia has been used in the research.

The results and their application area: There has been made the model of multiple regression permitting to reveal the dynamics of the change of activity of creatine kinase isoenzymes in cerebral ischemia using a calculating method. The mathematical modeling in the biological problems makes it possible to devise the calculating methods for obtaining information about the energy state of the brain in the disturbance of oxygen conditions. These methods can be used by the laboratories studied the effect of hypoxia on vital functions of an organism.

Conclusions: The present study suggested the model of multiple regression approximating the dependence of membrane-associated creatine kinase activity by the activity of its dimer isoform in the different conditions of cerebral ischemia.

Key words: creatine kinase, ischemia, model of multiple regression.

НАШИ АВТОРЫ

РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

Гойхман Михаил Борисович – Институт прикладной физики РАН, м.н.с.,
8(831)416 46 35, goihman@appl.sci-nnov.ru

Ким Ынсу – (Южная Корея), Институт прикладной физики РАН, аспирант,
8(831)416 46 35

Ковалев Николай Федорович - Институт прикладной физики РАН, д.-р физ.-мат.наук, проф., 8(831)436 78 10,
kovalev@appl.sci-nnov.ru

Палицин Алексей Валентинович – Институт прикладной физики РАН, науч.сотр., канд. физ.-мат. наук,
8(831)4164635, palitsin@appl.sci-nnov.ru

Громов Александр Викторович - Институт прикладной физики РАН, м.н.с.,
8(831) 416 46 35,
gromov@appl.sci-nnov.ru

Фильченков Сергей Евгеньевич – Институт прикладной физики РАН, науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, 8 (831)416 49 01,
fil@appl.sci-nnov.ru

Максим Вячеславович Кольцов – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,
8(831) 436 47 06, e tirinox@gmail.com

Иларионов Юрий Авенирович Иларионов – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. тех. наук, доц., 8(831) 468 12 78.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМ

Морозов Евгений Георгиевич – Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, д-р физ.-мат. наук, проф.,
egmorozov@mail.ru

Асеева Наталья Владимировна – НИУ ВШЭ, канд. физ.-мат. наук, доц.,
naseeva@hse.ru

Бляхман Людмила Григорьевна – НИУ ВШЭ, ст. препод., lblyahman@hse.ru

Логвинова Кира Владимировна – НИУ ВШЭ, канд. физ.-мат. наук, проф.,
klogvinova@hse.ru

Тютин Виктор Владимирович – НИУ ВШЭ, канд. физ.-мат. наук, доц.,
vtyutin@hse.ru

Химич Сергей Алексеевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,
sxrazymaster1@gmail.com

Пелиновский Дмитрий Ефимович - Департамент математики и статистики, Ун-та МакМастера, Канада, PhD, проф.,
aginiyatullin@eias.ru

Гиниятуллин Айрат Рафаэлевич - НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант,
aginiyatullin@eias.ru

Панфилова Юлия Александровна - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, студент,
panfilova-j@mail.ru

Шургалкина Екатерина Геннадьевна - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,
eshurgalina@mail.ru

Родин Артем Александрович - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,
xmrrarro@gmail.com

ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Утробин Владимир Александрович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, проф., utrobinva@yandex.ru

Марочкин Николай Васильевич – НГТУ им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,
ismarochkin@yandex.ru

Никулин Евгений Александрович - НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, проф.,
nea@mail.nnov.ru

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Кабалдин Юрий Георгиевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн наук, проф.,
kpmis@nntu.nnov.ru

Иванов Анатолий Андреевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,ivanov_aa@nntu.nnov.ru

Запорожцев Александр Валерьевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц. wing10@narod.ru

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Бажилов Вячеслав Александрович – ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова, канд. техн. наук, доц., bbvva@yandex.ru

Михалицын Евгений Александрович – ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова, инженер-исслед. 3 кат., mihalitsynea@gmail.com

Дроздов Юрий Николаевич – Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, д-р техн. наук, 8(495)135 40 97

Безнос Александр Викторович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, проф., beznosov@nntu.nnov.ru

Бокова Татьяна Александровна – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., ats@nntu.nnov.ru

Шумилков Артем Игоревич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, ats@nntu.nnov.ru

Махов Кирилл Андреевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, ats@nntu.nnov.ru

Черныш Алексей Сергеевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, магистрант, ats@nntu.nnov.ru

Бирюков Владимир Валерьевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., physics@nntu.nnov.ru

Грачев Владимир Александрович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, 8(831) 436 82 33

Малышев Григорий Сергеевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, 8(831) 436 82 33

Раевский Алексей Сергеевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р физ.-мат. наук, проф., physics@nntu.nnov.ru

Щербаков Владимир Викторович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., physics@nntu.nnov.ru

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Беляков Владимир Викторович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, проф., начальник УРИи ИР, nauka@nntu.nnov.ru

Беляев Александр Михайлович – ООО «Автол», г. Н. Новгород, инженер, myhome2010@mail.ru

Бушуева Марина Евгеньевна – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., декан ФДПиДОУ, bme@nntu.nnov.ru

Вахидов Умар Шахидович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, проф., зав. каф. СДМ, umar-vahidov@mail.ru

Гончаров Кирилл Олегович – НГТУ

им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., zemadm@mail.ru

Зезюлин Денис Владимирович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, balakhnaman@gmail.com

Колотилин Владимир Евгеньевич – ООО «ИнТех» г. Н. Новгород, директор, канд. техн. наук, доц., transfer@nntu.nnov.ru

Лелиовский Константин Ярославович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., kleliovskiy@mail.ru

Макаров Владимир Сергеевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., makv12010@gmail.com

Папунин Алексей Валерьевич – ООО «Управляющая компания «группа ГАЗ», вед. специалист Управления делами, lehalenia@rambler.ru

Тумасов Антон Владимирович – ООО НПФ «ДСТ» г. Н. Новгород, исполнит. директор, канд. техн. наук, доц., anton.tumasov@gmail.com

Федоренко Александр Викторович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, нач. отдела метрологии и стандартизации, alex.fedorenko.tech@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

Сутырин Валерий Игоревич – БФУ им. И. Канта, г. Калининград, д-р техн. наук, проф., vsutyrin@mail.ru.

Короткая Елена Ивановна – БГАРФ, г. Калининград, доц., Ekkat82@gmail.com

Нгуен Дык Тхинь – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, тел. (987)744-63-86

Зуев Валерий Андреевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, проф., зав. каф. КиАТ, ship@nntu.nnov.ru

Семенова Наталья Михайловна – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, аспирант, ship@nntu.nnov.ru

Грамузов Евгений Михайлович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, д-р техн. наук, ship@nntu.nnov.ru

Тихонова Наталья Евгеньевна – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., ship@nntu.nnov.ru

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Бадугин Дмитрий Анатольевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, ст. препод., epa131@nntu.nnov.ru

Бандорин Дмитрий Александрович – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, магистрант, era131@nntu.nnov.ru

Бычков Евгений Викторович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., fae_nir@nntu.nnov.ru

Мельников Владимир Леонидович - НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. техн. наук, доц., era131@nntu.nnov.ru

Соколов Виктор Васильевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., era131@nntu.nnov.ru

Титов Владимир Георгиевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., зав. каф. ЭС, eos@nntu.nnov.ru

Пученкин Артем Викторович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, apuchenkin@gmail.com

Колосов Роман Вадимович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, romio_86@bk.ru

Титов Виктор Владимирович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ассистент eos@nntu.nnov.ru

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Асташенко Владимир Иванович – НЧИФК(П)ФУ, д-р техн. наук, проф., 8 (8552) 589538

Швеёв Андрей Иванович – НЧИФК(П)ФУ, канд.техн.наук, доц., 8 (8552) 589538

Швеёва Татьяна Владимировна - НЧИФК(П)ФУ, канд. техн. наук, 8 (8552) 589538

Халиков Ильдар Наилевич- НЧИФК(П)ФУ, студент, astvi-52@mail.ru

Александров Максим Валерьевич - ЗАО «Завод «Флак-Орел», начальник металлург. бюро, aleksandrov86@live.ru

Чистяков Дмитрий Геннадьевич - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, 91_liza@mail.ru

Гущин Вячеслав Николаевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., taer@nntu.nnov.ru

Ульянов Владимир Андреевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., taer@nntu.nnov.ru

Кузякина Анна Анатольевна – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант, taer@nntu.nnov.ru

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

Кобякова Надежда Ксенофоновна – НИИ полимеров им. акад. В.А. Каргина,

г. Дзержинск, зав. отделом, кандидат химических наук, зав. отделом, kobyakova@nicr.ru

Макарова Ирина Юрьевна – НИИ полимеров им. акад. В.А. Каргина, г. Дзержинск, с.н.с ВАК, канд. хим. наук, с.н.с ВАК, (8313) 27-11-30, доб. 4-79.

Протасов Александр Алексеевич – НИИ полимеров им. акад. В.А. Каргин, г. Дзержинск, тех. руководитель цеха, (8313) 27-11-30, доб. 3-52

Червякова Галина Николаевна – НИИ полимеров им. акад. В.А. Каргина, г. Дзержинск, вед. инженер, (8313) 27-11-30, доб. 5-06.

ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

Кузнецов Юрий Алексеевич – ННГУ им. Н.И. Лобачевского. д-р физ.-мат. наук, проф. 8(831) 465 88 27

Маркова Светлана Евгеньевна – ННГУ им. Н.И.Лобачевского. ст. препод., 8(831) 465 88 27

Яшин Сергей Николаевич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р эконом. наук, проф., 8 (831) 436 73 74

Мурашова Наталья Александровна – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., 8 (831) 436 73 74

Анашкин Юрий Иванович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. педагог. наук, доц., uvr_otdel@nntu.nnov.ru

Колесов Кирилл Игоревич – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. эконом. наук, доц., kikolesov@mail.ru

Антонов Андрей Степанович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистр, hustystar@gmail.ru

СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

Сорокоумова Светлана Николаевна – ННГАСУ, д-р психолог. наук, проф., 4013@bk.ru

Исаев Вадим Павлович – ННГАСУ, аспирант, IVP_1974@mail.ru

Терентьев Владимир Валерьевич – ООО «Экспресс», PR, terentjev_vlad@mail.ru
Казакова Валерия Игоревна – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. филос. наук, доц. trenklen@nntu.nnov.ru

Цветкова Елена Александровна – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. филос. наук, доц., kpt@nntu.nnov.ru

МАКРОМИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Гаврилов Александр Александрович – АНПП «ТЕМП-АВИА», инженер 2-й категории, sania092010@mail.ru

Шипунов Андрей Николаевич – АНПП «ТЕМП-АВИА», вед. инженер, shipunov@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ

Орлов Юрий Федорович – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р физ.-мат. наук, проф., yorlov@mts-nn.ru

Митяков Евгений Сергеевич – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, канд. эконом. наук, ст. препод., iyao@mail.ru

Мошкова Альбина Николаевна – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р биолог. наук, проф., anmoshkova@mail.ru

Сергеева Татьяна Федоровна – НижГМА, канд. биолог. наук, ст. препод., prazina@yandex.ru

Хватова Елена Михайловна – НижГМА, д-р мед. наук, проф., prazina@yandex.ru

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ
«ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24
Тел. 8 312 4367372
E-mail: rio@nntu.nnov.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

- В редакцию направляют **два экземпляра** статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат *Word for Windows* и стандартные шрифты *Times New Roman* и *Symbol*.
- Формульные выражения выполняют строго в редакторе MS Equation 3 – 12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpf** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисуночная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, информацией о месте работы всех авторов, аннотацией и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ

(АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)

Авторский реферат на английском языке должен быть понятен без ссылки на саму статью. Это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы. Объем не менее 10 строк (100–250 слов – 850 знаков). Реферат включает: 1) предмет, тему, цель работы; 2) метод или методологию проведения работы; 3) результаты и область их применения; 4) выводы. Таблицы, формулы, рисунки (нумерация в реферате может не совпадать с текстом статьи) включаются, если раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Реферат можно начать с изложения результатов работы и выводов. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов, избегать терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных слов. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» (consequently, moreover, for example, the benefits of this study, as a result). Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in the study».

Авторское резюме из International Journal of Operations & Production Management. V.22.N 8

B. Meijboom, M. Houtepens

STRUCTURING INTERNATIONAL SERVICE OPERATIONS: A THEORETICAL FRAMEWORK AND A CASE STUDY IN THE IT-SECTOR

The name of organization

Purpose: The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

Design/methodology/approach: A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

Findings: It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

Originality/value: Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

Key words: multinationals, service operations, location, decision making, case studies.

ТРУДЫ
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

№ 3 (100)

Редакторы: **Т.В. Третьякова, Е.В. Комарова**
Технический редактор **Т.П. Новикова**

Редакция:

603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.
тел.: 8-312-436-73-72, tretjakova@nntu.nnov.ru

Подписано в печать 10.09.2013. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 42. Уч.-изд. л. 40,0. Тираж 300 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Индекс 44757
«Объединенный каталог Пресса России. Газеты и журналы»