ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 3 2015

ISSN 1812-7339

Журнал издается с 2003 г.

Электронная версия: **www.fr.rae.ru**

Правила для авторов: **www.rae.ru/fs/rules**

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 33297

Главный редактор
Ледванов Михаил Юрьевич д.м.н., профессор

Зам. главного редактора
Бичурин Мирза Иммамович д.ф-м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции
Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н. Бошенятов Б.В. (Москва), д.т.н., проф. Важенин А.Н. (Нижний Новгород), д.т.н., проф. Гилёв А.В. (Красноярск), д.т.н., проф. Гоц А.Н. (Владимир), д.т.н., проф. Грызлов В.С. (Череповец), д.т.н., проф. Захарченко В.Д. (Волгоград), д.т.н. Лубенцов В.Ф. (Ульяновск), д.т.н., проф. Мадера А.Г. (Москва), д.п.н., проф. Микерова Г.Ж. (Краснодар), д.т.н., проф. Пачурин Г.В. (Нижний Новгород), д.т.н., проф. Пен Р.З. (Красноярск), д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск), д.т.н., проф., к.ф-м.н. Мишин В.М. (Пятигорск), д.э.н., проф. Савон Д.Ю. (Ростов-на-Дону), д.э.н., проф. Макринова Е.И. (Белгород), д.э.н., проф. Роздольская И.В. (Белгород), д.э.н., проф. Коваленко Е.Г. (Саранск), д.э.н., проф. Зарецкий А.Д. (Краснодар), д.э.н., проф. Тяглов С.Г. (Ростов-на-Дону)

Журнал «Фундаментальные исследования» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **Свидетельство – ПИ № 77-15598.**

Все публикации рецензируются.
Доступ к журналу бесплатен.

Журнал представлен в **Научной электронной библиотеке (НЭБ)** – головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Место в общем рейтинге **SCIENCE INDEX за 2013 год – 207** (из 3009 индексируемых РИНЦ журналов).

Журнал включен в **«Перечень рецензируемых научных изданий»**, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Ответственный секретарь редакции –
Бизенкова Мария Николаевна – +7 (499) 705-72-30
E-mail: **edu@rae.ru**
Почтовый адрес
г. Москва, 105037, а/я 47 АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,
редакция журнала «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»
Учредитель – МОО «Академия Естествознания»
Издательство и редакция: Издательский Дом «Академия Естествознания»
Типография ИД «Академия Естествознания», г. Саратов, ул. Мамантовой, 5

Подписано в печать 06.03.2015
Формат 60x90 1/8
Технический редактор Кулакова Г.А.
Корректор Галенкина Е.С.
Усл. печ. л. 28,38.
Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2015/3

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АРКИ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА
Аваков А.А., Чепурненко А.С., Литвинов С.В. 9

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРОКАТНОЙ СМАЗКИ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО ОБЖАТИЯ
Арышенский Е.В., Яшин В.В., Латушкин И.А., Баев А.В. 15

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
Базыкин С.Н., Базыкина Н.А. 19

ЭНТРОПИЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА
Бодин О.Н., Иванчуков А.Г., Полосин В.Г., Рахматуллов Ф.К. 23

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ РАСХОДА ЖИДКИХ ТОПЛИВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ
Борисов Г.В., Лелиовский К.Я., Пачурин Г.В. 28

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА
Волков Е.Б., Ляпцев С.А., Потапов В.Я. 36

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ СИСТЕМОЙ «КОЛЬЦА ГЕЛЬМГОЛЬЦА – СОЛЕНОИД»
Гормаков А.Н., Ульянов И.А. 40

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОПОРНОЙ МЕЖЕВОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КУЗНЕЦКОГО РАЙОНА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ С РАСЧЕТОМ СТОИМОСТИ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ
Денисова Е.С., Красилич О.А. 46

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВАРИАЦИОННОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАЮЩИМ РОБОТОМ
Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. 51

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЕГО ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Логанина В.И., Полубояринов П.А. 58

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕСТНОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)
Жуков В.И., Копылов С.В. 63

ОСОБЕННОСТИ В СПЕКТРАХ ЭПР РАЗБАВЛЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА $PB_{1-X}MN_XS$ ($0{,}0001 < X < 0{,}008$)
Зайнуллин Р.Р., Уланов В.А. 68

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ШИРОКОЗОННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАМКАХ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГРИНА И ФОРМУЛ ТИПА КУБО – ГРИНВУДА
Казаров Б.А., Митюгова О.А., Алтухов В.И. 76

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДУВКИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ИЗ ОТРАБОТАННОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ НЕКОНДЕНСИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗОЙ
Ким П.П., Пастухова Г.В., Чубенко М.Н., Комаров В.А. 85

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АВТОМОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ
Киселёва Н.Н., Платонов А.А. 90

РАСЧЁТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ РЕЛЬСОТРОНА
Колчанова В.А., Стеклянникова С.Ю. 95

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЕМ УРАВНИТЕЛЬНЫХ ТОКОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ
Костюков А.В., Чернов А.В., Маркин А.С. 100

НЕЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ ЧИСТОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮГА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ
Ларько А.А., Иванова Ю.Д., Шевырногов А.П. 106

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА ТЕРМОМИГРАЦИИ В КАЧЕСТВЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ
Лозовский В.Н., Середин Б.М. 111

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОСТИ ПРОДУКЦИИ
Назаревич С.А. 119

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВЫХ РОНДОЛЕЙ
Немчинова Н.В., Тютрин А.А. 124

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ИЗОЛЯЦИИ
Никитин К.И., Поляков Д.А. 129

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОРБИТЫ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА МАРСА
Соколов Н.Л. 133

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УСТАЛОСТИ
Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В., Ильиных В.Н. 139

ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ИЗ ЛИСТЬЕВ ЛЮЦЕРНЫ НА СВОЙСТВА ВАФЕЛЬНЫХ ХЛЕБЦЕВ
Тарасенко Н.А., Красина И.Б. 144

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ
Фандеев В.П., Самохина К.С. 148

РАЗРАБОТКА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ
Щепетова В.А. 153

Экономические науки

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ: РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА
Головихин С.А., Валетов А.И. 157

АДАПТАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ
Дебердиева Е.М., Зольникова С.Н. 162

БЕНЧМАРКИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УЧЕТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕОРГАНИЗАЦИИ
Землякова С.Н. *168*

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКИМИ РИСКАМИ В КОНТЕКСТЕ БАЗЕЛЬСКИХ СОГЛАШЕНИЙ
Князева Е.Г., Парусимова Н.И. *173*

СТРАХОВОЙ РЫНОК РОССИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ РАЗВИТИЯ
Князева Е.Г., Юзвович Л.И., Смородина Е.А., Павленко А.О. *181*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ВУЗОВ В СИСТЕМЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
Конова Т.А., Нестеров В.Л. *187*

УЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ОТ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СУЖДЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
Ломазов В.А., Нестерова Е.В., Петросов Д.А. *192*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ
Нагоев А.Б., Филимонова Н.В. *197*

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СБЫТОВЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА
Петров В.Ю., Петрова П.И. *202*

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Рубцов А.В., Левшина В.В. *207*

УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ КОРПОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ
Суетин С.Н., Аношин В.Н., Котлячков О.В., Кещян В.Г. *212*

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА
Черновалова Г.А. *217*

РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
Шувалов В.А. *224*

CONTENTS

Technical sciences

STRESS–STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ARCH TECHNICAL SCIENCES WITH CREEP OF CONCRETE
Avakov A.A., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V. 9

STUDY OF ALUMINUM ALLOY ROLLING OIL ANTIFRICTION PROPERTIES BY ULTIMATE REDUCTION METHOD
Aryshenskiy E.V., Yashin V.V., Latushkin I.A., Baev A.V. 15

ANALYSIS TO NOISE-IMMUNITY INFORMATION-MEASURING SYSTEMS
Bazykin S.N., Bazykina N.A. 19

ENTROPY-PARAMETRIC ECS PROCESSING
Bodin O.N., Ivanchukov A.G., Polosin V.G., Rakhmatullov F.K. 23

THE QUESTION OF LIQUID CONSUMPTION RATIONING FUELS ROAD TRANSPORT
Borisov G.V., Leliovskiy K.Y., Pachurin G.V. 28

DETERMINATION OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE WORKING SURFACEVIBRATING SCREEN
Volkov E.B., Lyaptsev S.A., Potapov V.Y. 36

CALCULATION AND MODELING OF MAGNETIC FIELDS GENERATED BY THE SYSTEM «HELMHOLTZ RINGS-SOLENOID»
Gormakov A.N., Ulyanov I.A. 40

THE EXPERIENCE OF CREATING A REFERENCE FRAME NETWORK ON THE TERRITORY OF THE KUZNETSK DISTRICT, PENZA REGION WITH THE CALCULATION OF THE COST OF WORK PERFORMED
Denisova E.S., Krasilich O.A. 46

APPLICATION OF VARIATIONAL ANALYTIC PROGRAMMING FOR SYNTHESIS OF FYING ROBOT CONTROL
Diveev A.I., Konyrbaev N.B. 51

INVESTIGATION OF PROPERTIES CONCRETE BASED ON COMPOSITE GEOPOLYMER BINDER WHICH EFFECT ON ITS DURABILITY
Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Loganina V.I., Poluboyarinov P.A. 58

JUSTIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF DESIGN OF THE LOCAL NETWORK OF HIGHWAYS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)
Zhukov V.I., Kopylov S.V. 63

PECULIARITIES IN EPR SPECTRA OF THE $PB_{1-X}MN_XS$ SEMIMAGNETIC SEMICONDUCTORS ($0{,}0001 < X < 0{,}008$)
Zaynullin R.R., Ulanov V.A. 68

MODELING THE PROPERTIES OF WIDE BANDGAP NANOSTRUCTURED MATERIALS WITHIN METHODS OF DYNAMIC GREEN'S FUNCTIONS AND FORMULAS OF TYPE KUBO-GREENWOOD
Kazarov B.A., Mityugova O.A., Altukhov V.I. 76

STUDY OF THE PROCESS OF STRIPPING NITROGEN COMPOUNDS FROM SPENT SULPHURIC ACID NONCONDENSABLE GAS PHASE
Kim P.P., Pastukhova G.V., Chubenko M.N., Komarov V.A. 85

MODERN INFORMATION OF TECHNOLOGY FOR EXECUTION OF EXPERIMENTS AUTOMOTIVE STYLING AERODYNAMICS OF THE CAR
Kiseleva N.N., Platonov A.A. *90*

CALCULATION CURRENT DISTRIBUTION OVER THE CROSS-SECTION OF THE RAILGUN
Kolchanova V.A., Steklyannikova S.Y. *95*

INTELLIGENT AUTOMATICCONTROL SYSTEM FOR REDUCTION OF EQUALIZING CURRENTS IN TRACTION CURRENT SUPPLY
Kostyukov A.V., Chernov A.V., Markin A.S. *100*

NON-LINEAR TRENDS OF PLANTS NET PRIMARY PRODUCTION IN SOUTH OF KRASNOYARSK KRAI WITH SATELLITE DATA: METHODS AND APPROACHES
Larko A.A., Ivanova Y.D., Shevyrnogov A.P. *106*

THE PHYSICAL ASPECTS OF THE CHOICE OF THERMOMIGRATION AS A LOCAL CRYSTAL DOPING METHOD
Lozovskiy V.N., Seredin B.M. *111*

ASSESSMENT METHODOLOGY INNOVATIVE PRODUCTS
Nazarevich S.A. *119*

METALLOGRAPHIC INVESTIGATION OF ALUMINUM RONDOL SAMPLES
Nemchinova N.V., Tyutrin A.A. *124*

INSULATION SERVICE LIFE DETERMINATION
Nikitin K.I., Polyakov D.A. *129*

OPTIMAL CONTROL OF SPACE VEHICLE DURING THE SHAPING OF ORBIT OF MARS ARTIFICIAL SATELLITE
Sokolov N.L. *133*

THE DATA PROCESSING OF LOW-CYCLE FATIGUE TESTS ON BASE OF KINETIC THEORY OF FATIGUE
Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V., Ilinykh V.N. *139*

INFLUENCE OF POWDER FROM LEAVES OF LUCERNE ON PROPERTIES OF WAFER SMALL LOAFS
Tarasenko N.A., Krasina I.B. *144*

FABRICATION DESIGN PROSTHETIC DEVICE BETWEEN VERTEBRA DISK
Fandeev V.P., Samokhina K.C. *148*

DEVELOPMENT PRIRODOOHRANNYH ACTION FOR THE REASON REDUCTIONS OF THE INFLUENCE ON SURROUNDING AMBIENCE DEPARTURE AVTOTRANSPORTNYH ENTERPRISE PENZENSKOY AREA
Schepetova V.A. *153*

Economic sciences

COMPETITIVENESS OF THE RUSSIAN REGIONS: RATING
Golovikhin S.A., Valetov A.I. *157*

ADAPTING TARGETS REFINERIES TO THE CHANGING INTERNAL AND EXTERNAL ENVIRONMENT
Deberdieva E.M., Zolnikova S.N. *162*

BENCHMARKING AS A TOOL FOR STRATEGIC DECISION-MAKING IN THE AGRICULTURAL ORGANIZATIONS FORMED AS A RESULT OF THE REORGANIZATION
Zemlyakova S.N. *168*

TO THE QUESTION ABOUT THE METHODS OF BANKING RISK MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF BASEL
Knyazeva E.G., Parusimova N.I. *173*

THE INSURANCE MARKET IN RUSSIA: THE CURRENT DEVELOPMENT CHALLENGES
Knyazeva E.G., Yuzvovich L.I., Smorodina E.A., Pavlenko A.O. *181*

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF USE OF MATERIAL-TECHNICAL BASE OF UNIVERSITIES IN THE SYSTEM OF INDICATORS OF THE QUALITY OF TRAINING
Konova T.A., Nesterov V.L. *187*

SENSITIVITY ACCOUNTING CHANGES OF MULTICRITERIA ESTIMATION FROM EXPERT JUDGMENT IN SELECTION OF INNOVATION AND INVESTMENT REGIONAL PROJECTS IN HEALTHCARE
Lomazov V.A., Nesterova E.V., Petrosov D.A. *192*

FORECASTING AND PLANNING AS ELEMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES
Nagoev A.B., Filimonova N.V. *197*

INTEGRATION OF PRODUCTION AND SALES SYSTEMS WITH POSITIONS AND CLIENT-ORIENTED APPROACH
Petrov V.Y., Petrova P.I. *202*

ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO IMPROVING INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEM OF QUALITY WOODWORKING ENTERPRISES
Rubtsov A.V., Levshina V.V. *207*

FINANCIAL RESOURCES CORPORATION UNDER INCREASED FINANCIAL MARKET VOLATILITY
Suetin S.N., Anoshin V.N., Kotlyachkov O.V., Keschyan V.G. *212*

INTEGRATED COMPETENCE CENTER OF ENTERPRISE AS INFRASTRUCTURE MANAGEMENT MECHANISMS OF STAFF INNOVATIVE DEVELOPMENT
Chernovalova G.A. *217*

ROLE OF THE STATE IN FORMING REGIONAL INNOVATION INFRASTRUCTURE
Shuvalov V.A. *224*

УДК 624.01 : 624.04+624.07

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АРКИ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

Аваков А.А., Чепурненко А.С., Литвинов С.В.

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: litv_step@mail.ru

В статье приводится методика расчета железобетонных арок методом конечных элементов с учетом ползучести бетона. В качестве примера рассматривается железобетонная арка параболического очертания, загруженная равномерно распределенной нагрузкой. Приводятся следующие этапы: постановка задачи, формирование расчётной схемы, вывод уравнений метода конечных элементов, решение, представление и анализ результатов. На основе вязкоупругой модели наследственного старения бетона исследуется вопрос перераспределения напряжений между бетоном и арматурой вследствие ползучести бетона. Задача решается методом конечных элементов. По результатам расчёта приводятся графики изменения напряжений в бетоне по высоте сечения во времени в середине пролёта арки, а также изменение напряжений в арматуре по длине балки у верхней и нижней граней.

Ключевые слова: метод конечных элементов, ползучесть бетона, вязкоупругая модель наследственного старения, железобетонная арка, напряженно-деформированное состояние

STRESS–STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ARCH WITH CREEP OF CONCRETE

Avakov A.A., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V.

FGBOU VPO «The Rostov state construction university», Rostov-on-Don, e-mail: litv_step@mail.ru

The article provides a finite element method for calculation of reinforced concrete arches with the creep of concrete. As an example, the reinforced concrete arch of parabolic shape, loaded with a uniformly distributed load is consumed. We give the following stages of calculation: formulation of the problem, the formation of design scheme, derivation of the finite element method, the solution, presentation and analysis of results. On the basis of a viscoelastic model of hereditary aging concrete we explore redistribution of stresses between the concrete and reinforcement due to creep of concrete. The problem is solved by finite element method. According to the results of calculation are graphs of stresses in the concrete section through height in time in the middle of the span of the arch, as well as changing the stress in the reinforcement along the beam at the top and bottom faces.

Keywords: finite element method, the creep of concrete, viscoelastic model of hereditary aging, reinforced concrete arch, the stress-strain state

Железобетонные арки, благодаря своей высокой несущей способности, находят широкое применение в строительстве. Так как в поперечных сечениях арки возникают два основных внутренних силовых фактора: изгибающий момент и продольная сила, то конструирование арок выполняют по общим правилам для внецентренно сжатых элементов.

Для железобетонных колонн, испытывающих внецентренное сжатие, имеются теоретические и экспериментальные данные о том, что вследствие ползучести бетона происходит перераспределение напряжений между арматурой и бетоном [1–6]. Аналогичное явление возможно и для арок. В настоящей статье рассматривается методика расчета железобетонных арок с учётом ползучести бетона методом конечных элементов. Расчётная схема, а также поперечное сечение арки показаны соответственно на рис. 1.

В качестве закона, описывающего связь между напряжениями и деформациями бетона, будем использовать уравнение вязкоупругой модели наследственного старения (ВУмНС) [1], которое имеет вид

$$\varepsilon_b(t)=\frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)}-\int_{\tau_0}^{t}\sigma_b(\tau)\frac{\partial C(t,\tau)}{\partial\tau}d\tau, \qquad (1)$$

где $\varepsilon_b(t)$ – деформация бетона; $\sigma_b(t)$ – напряжение в бетоне; $E_b(t)$ – модуль упругости бетона; $C(t, \tau)$ – мера ползучести, которая имеет вид

$$C(t,\tau)=C\frac{e^{\alpha t}-e^{\alpha\tau}}{e^{\alpha t}-1}+B\left(e^{-\gamma\tau}-e^{-\gamma t}\right). \qquad (2)$$

Перепишем уравнение (2) в виде

$$\varepsilon_b=\frac{\sigma_b}{E_b}+\varepsilon_b^*, \qquad (3)$$

где $\varepsilon_b^*=-\int_{\tau_0}^{t}\sigma_b(\tau)\frac{\partial C(t,\tau)}{\partial\tau}d\tau$ – деформация ползучести.

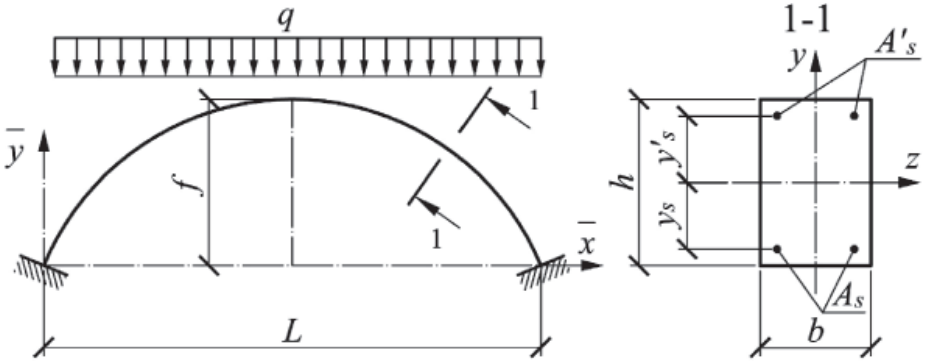


Рис. 1. Расчётная схема и поперечное сечение арки

Выразим в (3) напряжение через деформацию:

$$\sigma_b = E_b\left(\varepsilon_b - \varepsilon_b^*\right). \qquad (4)$$

Полная деформация бетона представляет собой сумму осевой деформации $\varepsilon_0 = \dfrac{du}{dx}$ и деформации, обусловленной изменением кривизны:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_0 - y\frac{d^2v}{dx^2}\ . \qquad (5)$$

Деформации арматуры запишутся в виде

$$\varepsilon_S = \varepsilon_0 + y_S\frac{d^2v}{dx^2};\qquad \varepsilon'_S = \varepsilon_0 - y'_S\frac{d^2v}{dx^2}\ . \qquad (6)$$

Потенциальная энергия деформации представляет собой сумму потенциальной энергии бетона и арматуры:

$$\Pi = \Pi_b + \Pi_S + \Pi'_S\ . \qquad (7)$$

Потенциальная энергия бетона определяется следующим выражением

$$\Pi_b = \frac{1}{2}\int_{V_b}\sigma_b\varepsilon_b^{el}dV, \qquad (8)$$

где $\varepsilon_b^{el} = \varepsilon_b - \varepsilon_b^*$ – упругая деформация бетона.

Подставив (4) и (5) в (8), получим:

$$\Pi_b = \frac{1}{2}E_b\int_{V_b}\left(\varepsilon_0 - y\frac{d^2v}{dx^2} - \varepsilon_b^{*2}\right)\ dV =$$

$$= \frac{1}{2}E_b\left[A_b\int_{(l)}\varepsilon_0^2dx + I_b\int_{(l)}\left(\frac{d^2v}{dx^2}\right)^2dx + \int_{V_b}(\varepsilon_b^*)^2dV - -2\int_{(l)}\varepsilon_0dx\int_A\varepsilon_b^*dA + 2\int_{(l)}\frac{d^2v}{dx^2}dx\int_A\varepsilon_b^*ydA\right], \qquad (9)$$

где $I_b = \dfrac{bh^3}{12}$ – момент инерции бетона; $A_b = bh$ – площадь бетонного сечения.

Потенциальная энергия деформации арматуры, расположенной у нижней грани, может быть найдена следующим образом:

$$\Pi_S = \frac{1}{2}\int_{V_S}\sigma_S\varepsilon_SdV = \frac{1}{2}E_SA_S\int_{(l)}\left(\varepsilon_0^2 + 2\varepsilon_0\ y_S\frac{d^2v}{dx^2} + y_S^2\left(\frac{d^2v}{dx^2}\right)^2\right)dx. \qquad (10)$$

Аналогично для арматуры верхней грани:

$$\Pi'_S = \frac{1}{2}\int_{V'_S}\sigma'_S\,\varepsilon'_S\,dV = \frac{1}{2}E_SA'_S\int_{(l)}\left(\varepsilon_0^2 - 2\varepsilon_0y'_S\ \frac{d^2v}{dx^2} + \left(y'_S\right)^2\left(\frac{d^2v}{dx^2}\right)^2\right)dx. \qquad (11)$$

В случае симметричного армирования $\left(A_S = A'_S\ ,\ y_S = y'_S\right)$ для потенциальной энергии деформации всей арматуры получим

$$\Pi_S + \Pi'_S = \frac{1}{2}E_S\left(A_{S,\,\text{общ}}\int_{(l)}\varepsilon_0^2dx + I_S\int_{(l)}\left(\frac{d^2v}{dx^2}\right)^2dx\right), \qquad (12)$$

где $I_S = A_S y_S^2 + A_S' \left(y_S'\right)^2$ – момент инерции арматуры.

Для расчета будет использоваться стержневой конечный элемент, показанный на рис. 2. В каждом узле данного элемента имеется 3 степени свободы: 2 линейных перемещения u и v, а также угол поворота φ. Вектор узловых перемещений запишется в виде

$$\{U\} = \{u_i \;\; u_j \;\; v_i \;\; \varphi_i \;\; v_j \;\; \varphi_j)\}.$$

Прогиб конечного элемента будем аппроксимировать следующим образом:

$$v(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 = \left\{1 \quad x \quad x^2 \quad x^3\right\} \left\{\alpha_0 \quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3\right\}^{\mathrm{T}} = \\ = \left\{1 \quad x \quad x^2 \quad x^3\right\} \{\alpha\}. \tag{13}$$

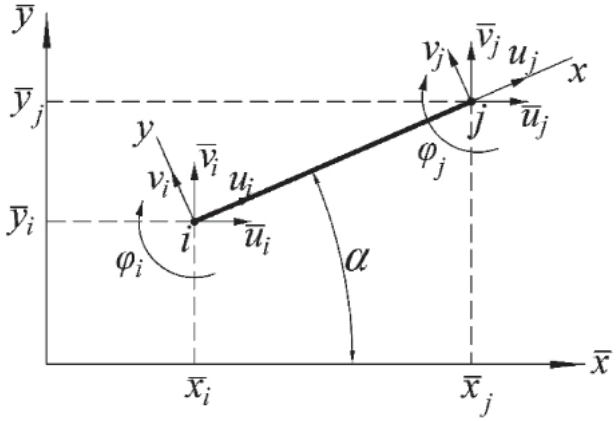


Рис. 2. Стержневой конечный элемент

Вектор {α} найдем из следующих условий:

$$v(0) = v_i, \quad \varphi(0) = -\left.\frac{dv}{dx}\right|_{x=0} = \varphi_i, \quad v(l) = v_j, \quad \varphi(l) = -\left.\frac{dv}{dx}\right|_{x=l} = \varphi_j .$$

$$\{\alpha\} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\dfrac{3}{l^2} & \dfrac{2}{l} & \dfrac{3}{l^2} & \dfrac{1}{l} \\ 0 & 0 & \dfrac{2}{l^3} & -\dfrac{1}{l^2} & -\dfrac{2}{l^3} & -\dfrac{1}{l^2} \end{bmatrix} \{U\} = [\Phi]\{U\}. \tag{14}$$

Вторая производная прогиба запишется в виде

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \{0 \quad 0 \quad 2 \quad 6x\}\{\Phi\}\{U\}. \tag{15}$$

Для осевых перемещений u принимаем линейную зависимость от x:

$$u = \left(1 - \frac{x}{l}\right) u_i + \frac{x}{l} u_j. \tag{16}$$

Тогда осевая деформация ε_0 будет определяться следующим образом:

$$\varepsilon_0 = \frac{du}{dx} = \left\{-\frac{1}{l} \quad \frac{1}{l} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0\right\}\{U\}. \tag{17}$$

Подставив (15) и (17) в (9) и (12), получим следующее выражение для потенциальной энергии железобетонного элемента:

$$\Pi = \frac{1}{2}\{U\}^{\mathrm{T}} [K]\{U\} - \\ - \{U\}^{\mathrm{T}} \left\{F_b^*\right\} + \frac{1}{2} E_b \int_V (\varepsilon_b^*)^2 \, dV, \tag{18}$$

где $[K] = \begin{bmatrix} [K_{\text{с}}] & \\ & [K_{\text{и}}] \end{bmatrix}$ – матрица жесткости, которая имеет блочную структуру; $\left\{F_b^*\right\}$ – вклад деформаций ползучести бетона в вектор узловых нагрузок;

$$[K_{\text{с}}]=\frac{EA_{red}}{l}\begin{bmatrix}11 & -\\ -1 & 1\end{bmatrix};\quad [K_{\text{и}}]=EI_{red}\begin{bmatrix}\frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} & -\frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2}\\ -\frac{6}{l^2} & \frac{4}{l} & \frac{6}{l^2} & \frac{2}{l}\\ -\frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2} & \frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2}\\ -\frac{6}{l^2} & \frac{2}{l} & \frac{6}{l^2} & \frac{4}{l}\end{bmatrix},$$

где $EA_{red}=E_bA_b+E_SA_{S,\,\text{общ}}$ – жесткость приведенного сечения при центральном растяжении (сжатии); $EI_{red}=E_bI_b+E_SI_S$ – жесткость приведенного сечения при изгибе.

$$\{F_b^*\}=E_b\left(\int_A\varepsilon_b^*dA\begin{Bmatrix}-1\\1\\0\\0\\0\\0\end{Bmatrix}+\int_A\varepsilon_b^*ydA\begin{Bmatrix}0\\0\\0\\-1\\0\\1\end{Bmatrix}\right). \tag{19}$$

Окончательно задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений, имеющей вид

$$[K]\{U\}=\{F_q\}+\{F_b^*\}, \tag{20}$$

где $\{F_q\}$ – вектор внешних узловых нагрузок.

Определение деформаций ползучести. В соответствии с выбранной реологической моделью деформация ползучести бетона определяется следующим образом:

$$\varepsilon_b^*=-\int_{\tau_0}^{t}\sigma_b(\tau)\frac{\partial C(t,\tau)}{\partial\tau}d\tau=\varepsilon_{b1}^*+\varepsilon_{b2}^*, \tag{21}$$

где $\varepsilon_{b1}^*=\dfrac{C\alpha}{e^{\alpha t}-1}\displaystyle\int_{\tau_0}^{t}\sigma_b(\tau)e^{\alpha\tau}d\tau;$

$$\varepsilon_{b2}^*=B\gamma\int_{\tau_0}^{t}\sigma_b(\tau)e^{-\gamma\tau}d\tau.$$

Найдем производную каждой составляющей по времени:

$$\frac{\partial\varepsilon_{b1}^*}{\partial t}=\frac{\alpha e^{\alpha t}}{e^{\alpha t}-1}\left(C\sigma_b(t)-\varepsilon_{b1}^*\right);\qquad \frac{\partial\varepsilon_{b2}^*}{\partial t}=B\gamma\sigma_b(t)e^{-\gamma t}. \tag{22}$$

Методика решения задачи. Рассматриваемый временной интервал разбивается на n шагов Δt, а поперечное сечение каждого элемента по высоте на m частей Δy. На первом шаге выполняется решение упругой задачи $\left(\varepsilon_b^*=0\right)$. По найденным перемещениям вычисляются напряжения, а по напряжениям находятся скорости роста составляющих ε_{b1}^* и ε_{b2}^* по формулам (22). Компоненты деформации ползучести в момент времени $t+\Delta t$ определяются при помощи линейной аппроксимации.

Была решена модельная задача при следующих исходных данных: пролет арки $L=16$ м, подъем $f=3{,}2$ м, $b=20$ см, $h=40$ см, $\tau_0=28$ сут, $E_b(\tau_0)=3\cdot10^4$ МПа, реологические константы $\alpha=0{,}032$, $\gamma=0{,}062$, $C=3{,}77\cdot10^{-5}$ МПа$^{-1}$, $B=5{,}68\cdot10^{-5}$ МПа$^{-1}$, коэффициент армирования $\mu=\dfrac{A_{S,\,\text{общ}}}{A_b}=0{,}03$, $y_S=y_S'=15$ см, $E_S=2\cdot10^5$ МПа.

Рис. 3 – изменение напряжений в бетоне в середине пролёта. Рис. 4–5 – соответственно графики изменения напряжений в арматуре у верхней и нижней грани.

Из рис. 3–5 видно, что вследствие ползучести бетона происходит перераспределение напряжений: в бетоне напряжения по абсолютному значению снижаются, а в арматуре возрастают. У верхней грани наиболее существенно меняются напряжения в середине пролета: в арматуре сжимающие напряжения σ_S возрастают с 52,48 до 97,46 МПа, а в бетоне убывают с 8,27 до 6,84 МПа.

У нижней грани наиболее значительное перераспределение происходит в сечениях $x=0$ и $x=l$: в арматуре сжимающие напряжения σ_S возрастают с 70,7 до 131,4 МПа, а в бетоне убывают с 11,3 до 9,35 МПа.

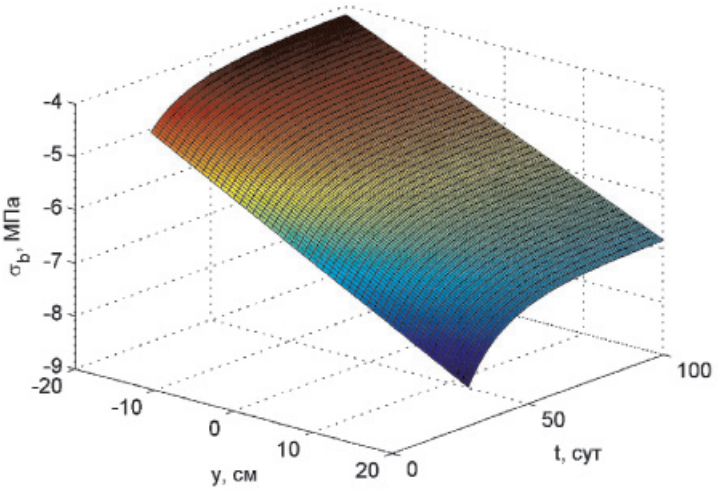


Рис. 3. Изменение напряжений в бетоне по высоте сечения при $x = \frac{L}{2}$

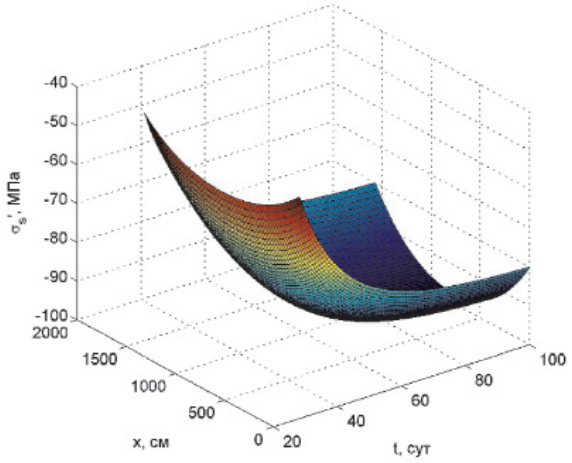


Рис. 4. Изменение напряжений в арматуре у верхней грани

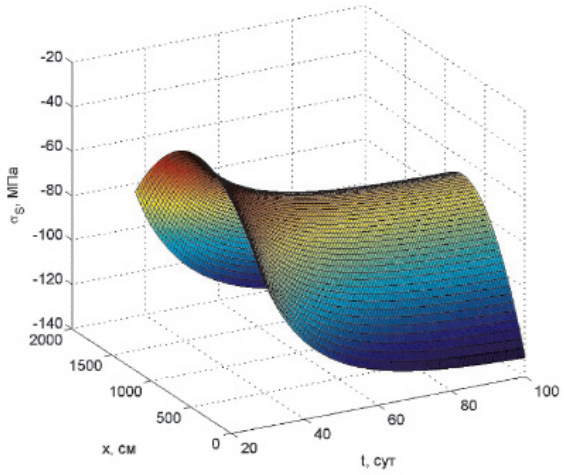


Рис. 5. Изменение напряжений в арматуре у нижней грани

Таким образом, даже линейная ползучесть бетона оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние железобетонных арок. В рассмотренном примере напряжения в арматуре у верхней грани в середине пролета возросли в 1,85 раз.

Список литературы

1. Гурьева Ю.А. Некоторые приложения упрощенной теории нелинейной ползучести нестареющего бетона при сжатии // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 6. – С. 52–53.

2. Гурьева Ю.А. Упрощенная теория нелинейной ползучести бетона при сжатии // Вестн. гражд. инженеров. – 2008. – № 2 (15). – С. 37–41.

3. Литвинов С.В., Юхнов И.В., Языев Б.М., Чепурненко А.С. Продольный изгиб гибкой железобетонной стойки при нелинейной ползучести // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL:http://www.science-education.ru/119-14705.

4. Тамразян А.Г. Механика ползучести бетона: монография / А.Г. Тамразян, С.Г. Есаян. – М.: МГСУ, 2012. – 490 с.

5. Чепурненко А.С., Юхнов И.В., Языев Б.М., Литвинов С.В. Расчет внецентренно сжатого железобетонного стержня на ползучесть при различных законах деформирования // Научное обозрение. – 2014. – № 8. – Ч. 3. – С. 935–940.

6. Юхнов И.В., Языев Б.М., Чепурненко А.С., Литвинов С.В. Напряженно-деформированное состояние короткого внецентренно сжатого железобетонного стержня при нелинейной ползучести // Научное обозрение. – 2014. – № 8. – Ч. 3. – С. 929–934.

References

1. Gur'eva Ju.A. Nekotorye prilozhenija uproshhennojj teorii nelinejjnojj polzuchesti nestarejushhego betona pri szhatii // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2008. no. 6. pp. 52–53.

2. Gur'eva Ju. A. Uproshhennaja teorija nelinejjnojj polzuchesti betona pri szhatii // Vestn. grazhd. inzhenerov. 2008. no. 2 (15). pp. 37–41.

3. Litvinov S.V., Jukhnov I.V., Jazyev B.M., Chepurnenko A.S. Prodol'nyjj izgib gibkojj zhelezobetonnojj stojjki pri nelinejjnojj polzuchesti // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 5; URL:http://www.science-education.ru/119-14705.

4. Tamrazjan A.G. Mekhanika polzuchesti betona: monografija / A.G. Tamrazjan, S.G. Esajan. Moskva: MGSU, 2012. 490 p.

5. Chepurnenko A.S., Jukhnov I.V., Jazyev B.M., Litvinov S.V. Raschet vnecentrenno szhatogo zhelezobetonnogo sterzhnja na polzuchest' pri razlichnykh zakonakh deformirovanija // Nauchnoe obozrenie. no. 8. Chast' 3. 2014. pp. 935–940.

6. Jukhnov I.V., Jazyev B.M., Chepurnenko A.S., Litvinov S.V. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie korotkogo vnecentrenno szhatogo zhelezobetonnogo sterzhnja pri nelinejjnojj polzuchesti // Nauchnoe obozrenie. no. 8. Chast' 3. 2014. pp. 929–934.

Рецензенты:

Бескопыльный А.Н., д.т.н., профессор кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей и оборудования, проректор по учебной работе, Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону;

Маилян Д.Р., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции», ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», г. Ростов-на-Дону.

Работа поступила в редакцию 04.02.2015.

УДК 621.771.014.2/ 665.765

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРОКАТНОЙ СМАЗКИ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО ОБЖАТИЯ

[1]Арышенский Е.В., [2]Яшин В.В., [2]Латушкин И.А., [1]Баев А.В.

[1]ФГАОУВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)», Самара, e-mail: ar.evgenii@ya.ru;

[2]ЗАО «Алкоа СМЗ», Самара

Настоящая статья посвящена исследованию влияния содержания эфиров и кислот на антифрикционные свойства прокатных смазок, применяемых при горячей прокатке алюминия и алюминиевых сплавов. Коэффициент трения был получен в результате проведения экспериментов по методу предельных обжатий заготовки из сплава 3104. Этот метод позволяет проводить испытания с условиями намного более близкими к производственным, чем тест на четырехвалковых машинах. Для построения эпюры распределения нормальных контактных напряжений в очаге деформации был произведен теоретический расчет при помощи программы Deform 2 D. Были проведены практические эксперименты на лабораторном прокатном стане кварто для прокатки листов и ленты, которые позволили связать показатель коэффициента трения с содержанием эфиров и жирных кислот в прокатной смазке.

Ключевые слова: коэффициент трения, прокатная смазка, прокатка, угол захвата, метод предельных обжатий, алюминиевые сплавы

STUDY OF ALUMINUM ALLOY ROLLING OIL ANTIFRICTION PROPERTIES BY ULTIMATE REDUCTION METHOD

[1]Aryshenskiy E.V., [2]Yashin V.V., [2]Latushkin I.A., [1]Baev A.V.

[1]Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Samara State Aerospace University named after Korolev (National Research University), Samara, e-mail: ar.evgenii@ya.ru;

[2]ZAO «Alcoa SMZ», Samara

This article is dedicated to the study of the influence of esters and acids content on anti-friction properties of rolling oil used in the hot rolling of aluminum and aluminum alloys. The coefficient of friction was obtained as a result of experiments using alloy 3104 stock ultimate reduction method. This method enables test performance under conditions much similar to production ones than those of a four-high machine test. To create normal contact stress distribution curve in the deformation zone, theoretical computation was made using Deform 2 D software. Practical experiments were carried out on a laboratory four-high rolling mill for rolling sheets and strips, that allowed to establish a link between coefficient of friction value and the content of esters and fatty acids in the rolling oil.

Keywords: friction coefficient, rolling lubrication, bite angle, breakdown rate, reduction practice, aluminum alloys

Получение алюминиевых листов и лент в современных прокатных комплексах является высокотехнологичным и динамично развивающимся производством. Важным параметром, определяющим стабильность изготовления и качество алюминиевого листа, является коэффициент трения при горячей прокатке. Этот параметр влияет на усилие деформации, планшетность листа, качество его поверхности и текстуру металла. Поэтому вполне естественным является желание контролировать трение на всем протяжении горячей прокатки. При этом одинаково недопустимы как слишком высокий, так и слишком низкий коэффициенты трения. В первом случае возрастает риск появления различных видов брака [1, 2], а во-втором появляется вероятность несхватывания металла валками, что означает невозможность проведения прокатки [9].

Коэффициент трения во многом определяется антифрикционными свойствами прокатной смазки, которые в свою очередь зависят от её состава. На сегодняшний день основой для большинства смазок, использующихся при производстве алюминиевых листов и лент, являются низкоароматизированные минеральные масла (состав которых не менялся с 80-х годов прошлого века). Однако антифрикционные свойства определяются главным образом не основой, а различными присадками, которые сильно влияют на толщину и прочность смазочной пленки. Обычно в качестве присадок при прокатке алюминиевых сплавов используются эфиры и жирные кислоты. Установлено, что повышение их концентрации благотворно влияет на антифрикционные свойства смазки [3, 4]. В то же время для реального производителя простой констатации этого

факта явно недостаточно, требуется прямая корреляция между коэффициентами трения и количеством той или иной присадки. Это поможет технологам понять, какой состав смазки оптимален для того или иного технологического процесса, и позволяет, с одной стороны избежать брака, а с другой стороны, исключить возможность незахвата металла валками.

Целью исследования является построение зависимости величины коэффициента трения от содержания эфиров и жирных кислот в прокатных жидкостях.

Обычно для определения антифрикционных свойств используется довольно простой тест на четырехшариковых машинах трения (ГОСТ 9490–75). Однако условия, создаваемые в испытательных машинах, сильно отличаются от тех, что имеют место в реальных процессах ОМД [5], а именно: отсутствует пластическая деформация, отличается характер соприкосновения и температурные условия, что существенно снижает достоверность исследований. Поэтому для решения задачи, поставленной в данном исследовании, необходимо воспользоваться иным подходом.

Для определения коэффициента трения будем применять метод предельного обжатия [6, 7]. Он позволяет проводить испытания с условиями, намного более близкими к производственным, чем тест на четырехвалковых машинах. Его суть состоит в прокатке на лабораторных станах металлических образов с разными обжатиями. Цель экспериментов – определить обжатие, при котором для смазки того или иного состава будет происходить пробуксовка валков, и рассчитать для этого случая коэффициент трения. Этот коэффициент будет предельным для данной композиции смазки, и по нему можно будет судить о том, насколько её антифрикционные свойства подходят для того или иного технологического процесса.

Трение определяют из условия равновесия сил, действующих на заготовку, – в данном случае проекции на ось прокатки сил трения и реакции валка должны быть равны по абсолютной величине и противоположены по знаку. Данное уравнение баланса сил сводится к соотношению между углом захвата α и коэффициентом трения μ.

$$\mu = \mathrm{tg}(n\alpha), \qquad (1)$$

где n – коэффициент, учитывающий угол приложения равнодействующей нормального давления.

Угол захвата α может быть легко определен по следующей формуле [9]:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right), \qquad (2)$$

где Δh – предельное обжатие; D – диаметр рабочего валка являются известными величинами.

Как известно, равнодействующая сила в начале деформации совпадает с точкой соприкосновения металла и валка (рис. 1, а), однако по мере прохождения металла в валки точка её приложения смещается. Во многих расчетах для определения положения равнодействующей силы принимают допущение о том, что нормальные контактные напряжения одинаковы во всех точках очага деформации. Тогда положение равнодействующей будет определяться углом $\frac{\alpha}{2}$, и таким образом n можно принять как 0,5.

Однако в реальности распределение контактных напряжений по валку гораздо сложнее, поэтому чаще всего $n > 0{,}5$. Так как данный параметр может серьезно влиять на точность расчета коэффициента трения, необходимо более точно определить n. Для этого был произведен численный расчет прокатки для нескольких типовых экспериментов (параметры которых будут описаны ниже) на лабораторных станах с разными величинами обжатий в программном комплексе Deform 2D (в качестве материала задавался сплав 3104, Al основа – Mg 1,4 % – Mn 1,3 %). Моделированием были получены распределения нормальных контактных напряжений, которые представлены в виде графиков распределения нормальных напряжений по очагу деформации (рис. 2). С помощью этих эпюр было легко найдено положение равнодействующей и установлено, что коэффициент n следует принять равным 0,75.

Напряжения даны в относительных единицах, которые определяются делением σ_n (нормальных напряжений) на $\sigma_{0,2}$ (предел текучести ближайшего российского аналога сплава 3104 при данных термомеханических условиях прокатки [8]).

Для исследований использовались образцы с размерами $h = 20$ мм, $b = 100$ мм, $l = 300$ мм, которые прокатывались со смазками с разным содержанием жирных кислот и эфиров. Для каждой композиции смазки первый образец обжимался на 5 мм. Следующий образец прокатывался с обжатием на 2 мм, если происходила пробуксовка, производился подсчет коэффициента трения по формуле (2), если её не происходило, то прокатывался еще один образец с обжатием 5 + 2 + 2 мм и т.д.

Результаты приведены в таблице и графически на рис. 3.

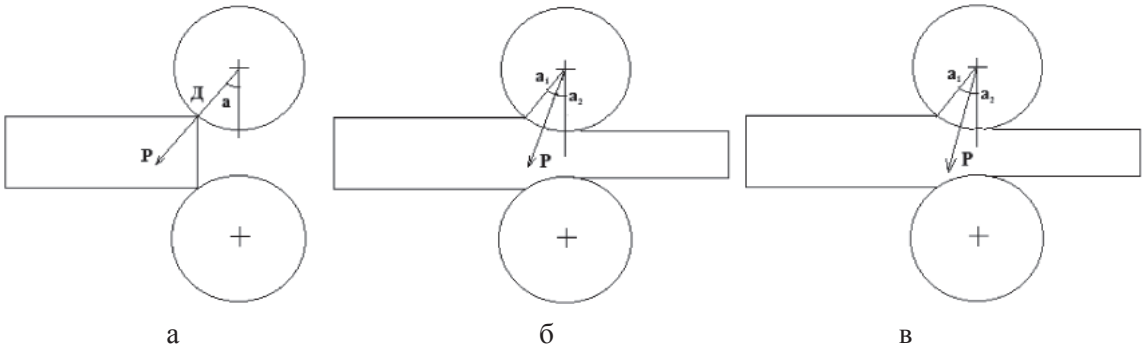


Рис. 1. Положение вектора равнодействующей силы нормальных контактных напряжений при прокатке: а – начало прокатки; б – идеальный случай прокатки $a_1 = a_2$; в – реальная картина $a_1 > a_2$, где P – вектор равнодействующей контактных нормальных напряжений, a – угол захвата, причем $a = a_2 + a_1$

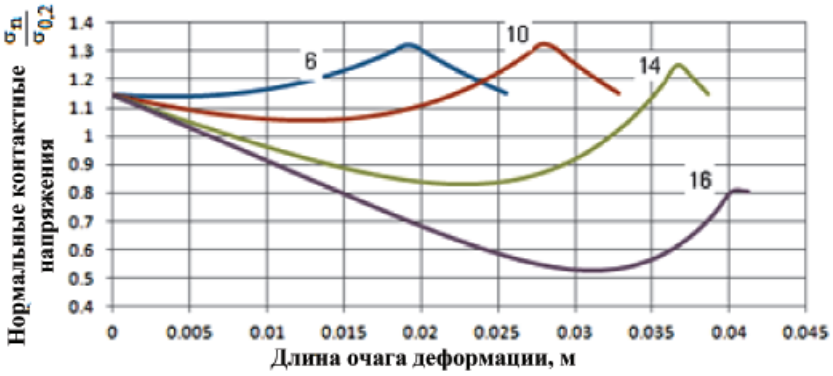


Рис. 2. Распределение нормальных контактных напряжений по длине очага деформации

Результаты экспериментов по определению коэффициента трения по предельному обжатию

№ п/п	Жирные кислоты, % DOC	Эфиры, % ESC	Предельное обжатие	Угол дуги контакта, рад	Коэффициент трения
1	4	5	10,0	17,4	0,22
2	4	8	10,0	17,4	0,22
3	4	11	8,5	16,0	0,202
4	4	15	7,5	15,0	0,189
5	5,5	5	6,0	13,5	0,17
6	5,5	8	5,5	12,8	0,161
7	5,5	11	5,0	12,3	0,155
8	5,5	15	3,5	10,3	0,129
9	7	5	2,5	8,6	0,108
10	7	8	3,0	9,6	0,12
11	7	11	1,5	6,7	0,084
12	7	15	1,0	5,6	0,07
13	8,5	5	1,0	5,4	0,068
14	8,5	8	1,0	5,4	0,068
15	8,5	11	1,0	5,4	0,068
16	8,5	15	1,0	5,4	0,068

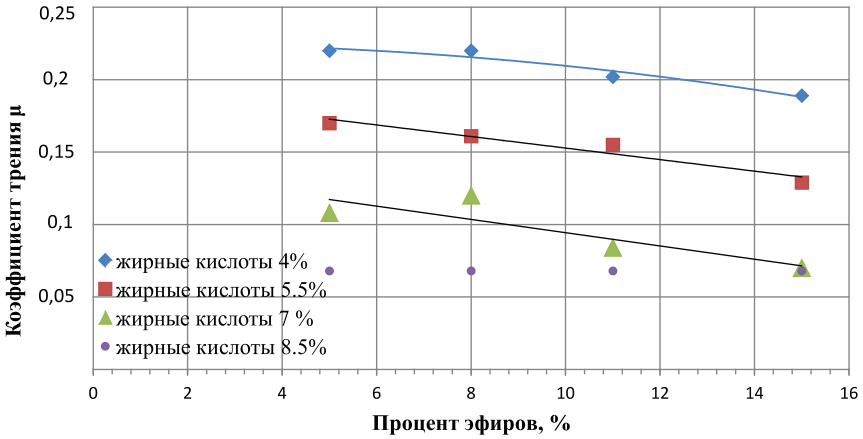


Рис. 3. График зависимости коэффициента трения от содержания эфиров и кислот

Как и ожидалось, повышение количества эфиров и жирных кислот снижает коэффициент трения. В обоих случаях (эфиры, кислоты) наблюдается практически линейная зависимость. Такая картина вполне соответствует ожиданию. Гораздо важнее, однако, возможность достаточно точно определить коэффициент трения в зависимости от конкретного состава смазок. Например, в последней клети непрерывной группы горячего проката коэффициент трения должен быть не меньше 0,1. Поэтому для этого случая количество жирных кислот должно быть не более 6%, в то же время количество эфиров можно повышать практически до 15%. Таким образом, зная предельно необходимый коэффициент трения для данных технологических условий, можно легко подобрать нужную композицию смазок.

Выводы

1. С помощью метода предельного обжатия проведено изучение антифрикционных свойств смазок при горячей прокатке на лабораторном стане.

2. Эксперимент позволил связать значение коэффициента трения от содержания эфиров и жирных кислот в прокатной смазке. Данная зависимость имеет практически линейный характер и легко позволяет определить оптимальную химическую композицию смазки для того или иного технологического процесса.

Список литературы

1. Арышенский Е.В., Беглов Э.Д., Арышенский В.Ю., Панкратов М.А. Исследование влияния внешнего трения при горячей прокатке на текстуру ленты из алюминиевого сплава 3104 // Производство проката. – 2012. – № 7. – С. 14–17.

2. Арышенский Е.В., Беглов Э.Д., Арышенский В.Ю. Изучения причин появления поверхностных дефектов типа «отслоение» при прокатке лент из сплава 5182 в непрерывных группах // ОМД-2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии – международный научно-технический конгресс, Москва, НИТУ «МИСиС», 14–17 апреля 2014 г. – М.: ООО «Белый Ветер», 2014, – С. 254–262.

3. Арышенский Е.В., Панкратов М.А., Арышенский В.Ю., Беглов Э.Д. Изучение антифрикционных свойств прокатных смазок, применяющихся для алюминиевых сплавов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 3 – 1. – С. 14–16.

4. Арышенский Е.В., Панкратов М.А., Арышенский В.Ю., Беглов Э.Д. Изучение влияния композиции смазочных жидкостей на усилие прокатки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 3 – 1. – С. 13–15.

5. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением: справочник. – 1982 – 311 с.

6. Обработка металлов давлением: труды ЛПИ. – М.: Машгиз, 1959. – № 203.

7. Прокатное и трубное производство // Приложение к журналу «Сталь». – М.: Металлургиздат, 1958.

8. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 488 с.

9. Целиков А.И., Гришков А.И., Теория прокатки. – М.: 1970.

References

1. Aryshenskij E.V., Beglov Je.D., Aryshenskij V.Ju., Pankratov M.A. *Proizvodstvo prokata*, 2012, no. 7, pp. 14–17.

2. Aryshenskij E.V., Beglov Je.D., Aryshenskij V.Ju. Moscow: *OOO «Belyj Veter»*, 2014, pp. 254–262.

3. Aryshenskij E.V., Pankratov M.A., Aryshenskij V.Ju., Beglov Je.D. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014, no. 3–1, pp. 14–16.

4. Aryshenskij E.V., Pankratov M.A., Aryshenskij V.Ju., Beglov Je.D. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014, no 3–1, pp. 13–15.

5. Grudev A.P., Zil'berg Ju.V., Tilik V.T. *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem*. 1982. 311 p.

6. *Obrabotka metallov davleniem*, № 203. Trudy LPI. Mashgiz, 1959.

7. *Prokatnoe i trubnoe proizvodstvo*, Metallurgizdat, 1958.

8. Poluhin P.I., Gun G.Ja., Galkin A.M. *Soprotivlenie plasticheskoj deformacii metallov i splavov*. Moscow: Metallurgija, 1976. 488 p.

9. Celikov A.I., Grishkov A.I., *Teorija prokatki*, Moscow, 1970.

Рецензенты:

Гречников Ф.В., д.т.н., ФГБУН «Самарский научный центр» Российской академии наук, г. Самара;

Попов И.П., д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой ОМД СГАУ, ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)», г. Самара.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 347.19

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Базыкин С.Н., Базыкина Н.А.

ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: cbazykin@yandex.ru, nelli.baz@yandex.ru

В статье рассматриваются проблемы помехоустойчивости информационно-измерительных систем линейных перемещений на основе лазерных акустооптических интерферометров. Показано, что оптоэлектронные информационно-измерительные системы передачи информации эффективно работают при условии, что соотношение «сигнал/шум» на входе приемника излучения превышает некоторое пороговое значение. Работа информационно-измерительных систем при пороговых режимах мало изучена. Тенденции изменения динамических погрешностей и погрешностей от шумов при уменьшении инерционности информационно-измерительных систем противоположны. Показана экспериментальная зависимость интенсивности лазерного пучка от измеряемого расстояния для информационно-измерительной системы. Представлена разработанная схема для определения действительного значения длины волны лазерного излучения для интерференционных измерений. Показано, что использование акустооптического модулятора в качестве устройства воспроизведения эталонных линейных перемещений повышает точность измерения действительного значения длины волны лазерного излучения.

Ключевые слова: помехоустойчивость, информационно-измерительная система, лазерный интерферометр, оптика, лазер

ANALYSIS TO NOISE-IMMUNITY INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Bazykin S.N., Bazykina N.A.

Penza State University, Penza, e-mail: cbazykin@yandex.ru, nelli.baz@yandex.ru

In article are considered problems to noise-immunity information-measuring systems of the linear displacement on base lazer acoustics-optical interferometer. It is shown that optometrist-electronic information-measuring systems of the issue to information effectively work provided that correlation «signal/noise» at the input receiver of the radiation exceeds certain threshold importance. Work information-measuring systems at threshold mode little is studied. The trends of the change of dynamic inaccuracy and inaccuracy from noise at reduction inertia information-measuring systems opposite. It is shown experimental dependency to intensities of the lazer bunch from measured distances for information-measuring system. The designed scheme will presented for determination of real importance wavelength lazer radiation for interference measurements. It is shown that use acoustics-optical modulator as transcriber of the master linear displacement raises accuracy of the measurement of real importance wavelength lazer radiation.

Keywords: noise-immunity, information-measuring system, lazer interferometer, optics, lazer

Проблема помехоустойчивости информационно-измерительных систем является одной из важнейших проблем современной теории передачи информации. Эта проблема возникает при проектировании и эксплуатации информационно-измерительных систем, имеющих ограниченный энергетический потенциал. Это, прежде всего, относится к информационно-измерительной технике, в которой в качестве носителя информации используется оптическое излучение.

Оптоэлектронные информационно-измерительные системы передачи информации эффективно работают при условии, что соотношение «сигнал/шум» на входе приемника излучения превышает некоторое пороговое значение. Уменьшение соотношения «сигнал/шум» на входе приемника излучения при работе в области порога приводит к быстрому росту погрешности измерения и, соответственно, к резкому ухудшению качества измерения [1].

До настоящего времени нет единых и четких определений для порогового режима, порогового сигнала и порогового соотношения «сигнал/шум». Разные авторы вводят различные определения [4, 5, 6, 7, 9].

Работа информационно-измерительных систем при пороговых режимах мало изучена. Известно лишь, что вместе с полезным сигналом через элементы оптоэлектронной информационно-измерительной системы практически всегда проходят помехи, называемые шумами, которые могут генерироваться и в самих элементах системы. Накладываясь на полезный сигнал, эти помехи искажают его параметры, что неизбежно ведет к возникновению погрешностей измерения. В большинстве случаев эти помехи являются случайными, статистические характеристики которых зависят от характера задачи, структуры и состава элементов оптоэлектронной информационно-измерительной системы. Для уменьшения инерционности оптоэлектронной информационно-измерительной системы и снижения значения ее динамических погрешностей полоса пропускаемых частот частотной

характеристики системы расширяется, что ведет к повышению уровня помех и росту искажений параметров полезного сигнала от них. Таким образом, тенденции изменения динамических погрешностей и погрешностей от шумов при уменьшении инерционности информационно-измерительных систем противоположны, и существуют такие параметры системы, определяющие ее частотную передаточную функцию, при которых сумма динамической погрешности и погрешности от шумов будет минимальной для заданных условий работы.

На стадии предварительного проектирования из суммарной допустимой дисперсии погрешности оптико-электронной информационно-измерительной системы $\sigma^2_{\Sigma доп}$ сначала оценивают сумму дисперсий методической и инструментальной погрешностей, а затем определяют ту часть погрешности, которая может иметь место при функционировании системы из-за динамической погрешности и погрешности от шумов по формуле [3, 7]:

$$\left(\sigma^2_{дин} + \sigma^2_{ш}\right) \le \left[\sigma^2_{\sum доп} - \left(\sigma^2_{м} + \sigma^2_{и}\right)\right]. \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что при уменьшении погрешности от шумов можно увеличить предельное значение составляющей динамической погрешности, не выходя за рамки $\sigma^2_{\Sigma доп}$. При этом можно увеличить полосу пропускаемых частот частотной характеристики и, соответственно, максимально допустимую скорость движения подвижного отражателя при работе устройства.

Другим немаловажным фактором является то, что интенсивность оптического излучения для информационно-измерительных систем уменьшается с увеличением измеряемого расстояния. Падение амплитуды переменной составляющей интерференционного сигнала описывается выражением [8]

$$A(Z_{оп} + 2L) = A(Z_{оп})2\sqrt{\frac{1+a^2}{4+5a+a^4}}, \quad (2)$$

где $a = \frac{\pi\theta^2(Z_{оп}+2L)}{\lambda}$; $\theta = \frac{\lambda}{\pi r_0}$; $Z_{оп}$ – длина опорного плеча; L – длина измерительного плеча; A – интенсивность соответствующих переменных сигналов в плечах, поступающих на фотоприемник; θ и λ – расходимость и длина волны излучения; r_0 – радиус минимального сечения лазерного пучка.

Интенсивность лазерного оптического пучка при измеряемом расстоянии $L = 60$ м уменьшается на порядок. При этом уменьшается контраст интерференционных полос на фотоприемнике, который определяется выражением [4, 7]

$$m = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}, \quad (3)$$

где I_1, I_2 – интенсивности опорного и измерительного лучей; $2\sqrt{I_1 \cdot I_2}$, $I_{1+}I_2$ – переменная и постоянная составляющие интенсивности на фотоприемнике.

При $L > 60$ м снижается мощность принимаемых оптических сигналов на фотоприемнике, ведущая к неработоспособности системы из-за больших помех. Поэтому для измерения на расстояниях $L > 60$ м, а также измерения нескольких координат при использовании одного оптического источника актуальна задача повышения соотношения «сигнал/шум» измерительного сигнала.

Точность измерения физического параметра с помощью лазерных интерферометров зависит от определения действительного значения длины волны лазерного излучения в воздухе $\lambda_{возд}$. Определение $\lambda_{возд}$ производится посредством измерения коэффициента преломления воздуха $n_{возд}$ и при известном значении длины волны лазерного излучения в вакууме. Расчетное значение $\lambda_{возд}$ определяется по формуле

$$\lambda_{возд} = \frac{\lambda_{вак}}{n_{возд}}, \quad (4)$$

где $\lambda_{вак}$ – значение длины волны лазерного излучения в вакууме.

Показатель преломления сухого воздуха при нормальных условиях на длине волны гелий-неонового лазера 0,63299138 мкм составляет $n_н = 1{,}0002765$. Изменение температуры, давления и влажности воздуха учитывается соотношением [8]

$$\Delta n = n_{возд} - n_н = \left[-93(t-20) + 36(P-760) - 5{,}6(p-10)\right] \cdot 10^{-8}, \quad (5)$$

где t – температура, °С; P – давление воздуха, мм рт. ст.; p – парциальное давление водяного пара, мм рт. ст.

Параметры t, P, p определяются с помощью датчиков температуры, давления и влажности, имеющих унифицированные выходные сигналы. Затем осуществляется вычисление Δn. Если в качестве коэффициента масштабного преобразования в блоке индикации интерферометра записано значение длины волны лазера для нормальных условий воздуха $\lambda_н$, то отклонение оперативно вводится в качестве поправок на результат измерений:

$$\pm\Delta\lambda = \frac{\lambda_н}{n_н \pm \Delta n}. \quad (6)$$

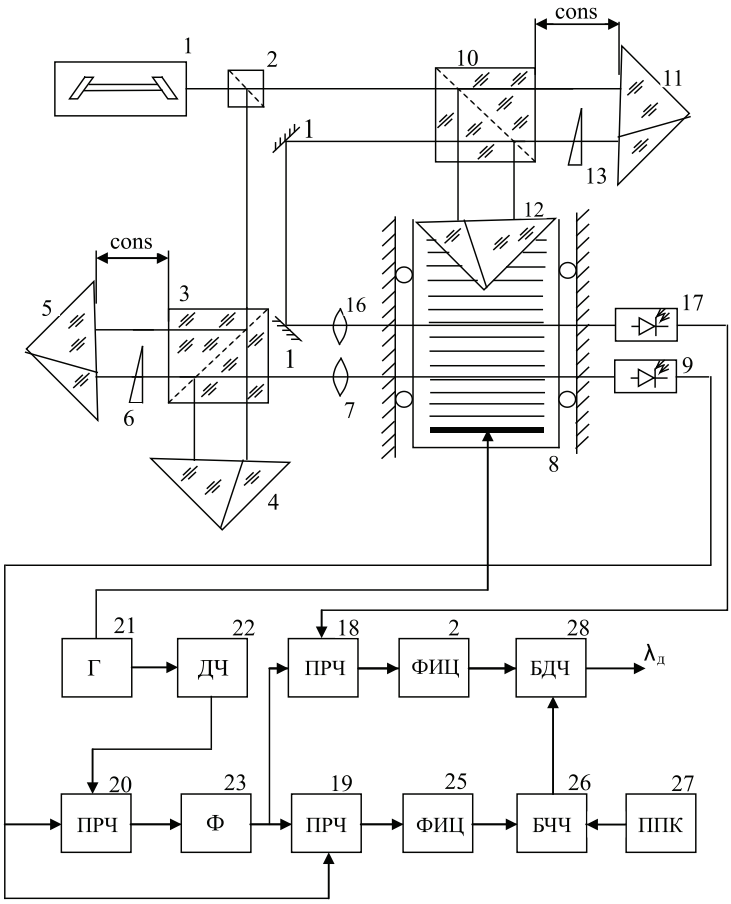


Схема информационно-измерительной системы для определения действительного значения длины волны лазерного излучения

Недостатком такого способа определения $\lambda_{возд.}$ является то, что коэффициент преломления воздуха $n_{возд.}$ определяется в локальных точках пространства, часто удаленных от трассы измерения. Неопределенность закона распределения коэффициента преломления вдоль трассы, по которой перемещается подвижный отражатель интерферометра, приводит к неопределенности среднего действительного значения длины волны лазерного излучения на всем участке измерения [2].

На рисунке представлена разработанная схема для определения действительного значения длины волны лазерного излучения для интерференционных измерений [10].

Исходное лазерное излучение от источника 1 через светоделительный элемент 2 направляют в два независимых интерференционных канала, каждый из которых может быть сформирован различными типами интерферометров. После прохождения первого интерференционного канала, образованного светоделительным элементом 3, жестко скрепленных с ним уголковыми отражателями 4, 5 и оптическим клином 6, два интерференционных световых пучка направляют после фокусирующей системы 7 для просвечивания через акустооптический модулятор 8. Световые пучки распространяются под углом друг к другу, кратным углу дифракции.

После пространственного разделения в фокальной плоскости фокусирующей системы совмещенные по направлению, но различные по временным частотам дифракционные порядки, направляют на фотоприемник 9. Например, на фотоприемнике могут быть «0»-й дифракционный порядок от информационной световой волны и «+1»-й дифракционный порядок от референтной световой волны. С выхода фотоприемника 9 выделяют сигнал, следующий на несущей частоте, равной разности фотосмешиваемых частот.

Второй интерференционный канал образован светоделительным элементом 10, уголковым отражателем 11, жестко скрепленным с акустооптическим модулятором уголковым отражателем 12 и оптическим клином 13. После прохождения этого канала два интерференционных световых пучка, распространяющихся под углом, кратным углу дифракции друг к другу, направляют через поворотные зеркала 14 и 15 после фокусирующей системы 16 также для просвечивания через акустооптический модулятор 8.

В данной схеме фотоприемники 9 и 17 регистрируют информацию отдельно о перемещении акустооптического модулятора и о перемещении подвижного отражателя интерферометра и акустооптического модулятора. Электрические сигналы с фотоприемников направляют на преобразователи частоты 18 и 19. Электрический сигнал с фотоприемника 9 также направляют на преобразователь частоты 20, где происходит перенос его на другую несущую частоту при помощи однополосной амплитудной модуляции. На второй вход преобразователя частоты 20 подают электрический сигнал с генератора частоты 21 через делитель 22. С выхода преобразователя частоты 20 электрический сигнал через фильтр 23 подают на вторые входы преобразователей частоты 18 и 19. В преобразователе частоты 18 выделяют сигнал разностной частоты (фазы) между электрическими сигналами с преобразователей частоты 20 и фотоприемника 17. Фаза выходного сигнала с преобразователя частоты 18 смещается синфазно фазе световой волны. Электрические сигналы с преобразователей частот 18 и 19 подают на фазометры 24 и 25. В цифровых интегрирующих фазометрах 24 и 25 происходит счет значений периодов (фаз) световой и ультразвуковой волн, уложившихся в расстоянии, равном перемещению акустооптического модулятора. Электрический сигнал с фазометра 25 показывает значение числа периодов (фаз) ультразвуковой волны, уложившейся в расстоянии, равном перемещению акустооптического модулятора. Этот электрический сигнал направляют в блок умножения чисел 26, где происходит умножение его на значение длины волны ультразвука с панели преднабора константы 27, которая при данном способе является метрологической константой. С выхода блока умножения чисел 26 электрический сигнал подают в блок деления чисел 28, где происходит его деление на значение числа периодов (фаз) световой волны, уложившихся в расстоянии, равном перемещению акустооптического модулятора, полученное с фазометра 24. С блока деления чисел 28 получают электрический сигнал, равный действительному усредненному по трассе измерения значению длины волны лазерного излучения.

Погрешность определения значения длины волны оптического излучения не превышает $\pm 1{,}5 \cdot 10^{-9}$, следовательно, и максимальная накопленная погрешность измерения длины волны лазера на участке, где проводилось определение $\lambda_д$, не превышает этого значения [6].

Использование протяженного акустооптического модулятора в качестве устройства воспроизведения эталонных линейных перемещений повышает точность измерения действительного значения длины волны лазерного излучения.

Список литературы

1. Базыкин С.Н. Информационно-измерительные системы на основе интерферометров: моногр.; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Васильева. – Пенза: изд-во ПГУ, 2014. – 132 с.
2. Базыкин С.Н. Проблемы информационного обеспечения систем с использованием оптоэлектронных средств измерения линейных перемещений // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16173 (дата обращения: 13.12.2014).
3. Капезин С.В., Базыкин С.Н., Базыкина Н.А. Пространственные реперные точки в гетеродинных лазерных интерферометрах // Датчики и системы. – 2005. – № 10. – С. 19–20.
4. Коронкевич В.П., Ханов В.А. Современные лазерные интерферометры перемещений. – Новосибирск: Наука, 1985. – 181 с.
5. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Госэнергоиздат, 1956.
6. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов // Политехника. – 2007. – 579 с.
7. Патент РФ № 2083962, C16G01J9/02. Способ определения действительного значения длины волны лазерного излучения. / Опубл. 10.07.97, Бюл. № 19.
8. Порфирьев Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. – СПб.: Лань, 2013.
9. Привалов В.Е. Лазерные интерферометры для механических измерений. – Мех. ин-т. – СПб., 1992 – 56 с.
10. Фомин А.Ф., Хорошавин А.И., Шелухин О.И. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы. – М.: Радио и связь, 1987. – 248 с.

References

1. Bazykin S.N. Informacionno-izmeritel'nye sistemy na osnove interferometrov: monogr.; pod red. d-ra tehn. nauk, prof. V.A. Vasil'eva. Penza: izd-vo PGU, 2014. 132 p.
2. Bazykin S.N. Problemy informacionnogo obespechenija sistem s ispol'zovaniem optojelektronnyh sredstv izmerenija linejnyh peremeshhenij // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16173 (data obrashhenija: 13.12.2014).
3. Kapezin S.V., Bazykin S.N., Bazykina N.A. Prostranstvennye repernye tochki v geterodinnyh lazernyh interferometrah // Datchiki i sistemy. 2005. no. 10. pp. 19–20.
4. Koronkevich V.P., Hanov V.A. Sovremennye lazernye interferometry peremeshhenij. Novosibirsk: Nauka, 1985. 181 p.
5. Kotel'nikov V.A. Teorija potencial'noj pomehoustojchivosti. M.: Gosjenergoizdat, 1956.
6. Latyev S.M. Konstruirovanie tochnyh (opticheskih) priborov // Politehnika. 2007. 579 p.
7. Patent RF no. 2083962, C16G01J9/02. Sposob opredelenija dejstvitel'nogo znachenija dliny volny lazernogo izluchenija. / Opubl. 10.07.97, Bjul. no. 19.
8. Porfir'ev L.F. Osnovy teorii preobrazovanija signalov v optiko-jelektronnyh sistemah. SPb.: Lan', 2013.
9. Privalov V.E. Lazernye interferometry dlja mehanicheskih izmerenij. Meh. in-t. SPb., 1992 56 p.
10. Fomin A.F., Horoshavin A.I., Sheluhin O.I. Analogovye i cifrovye sinhronno-fazovye izmeriteli i demoduljatory. M.: Radio i svjaz', 1987. 248 p.

Рецензенты:

Таранцева К.Р., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, заведующая кафедрой «Биотехнология и техносферная безопасность», Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза;

Ломтев Е.А., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология», Пензенский государственный университет, г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 53.088.7, 681.2.084, 612.172.4

ЭНТРОПИЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

Бодин О.Н., Иванчуков А.Г., Полосин В.Г., Рахматуллов Ф.К.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: Anton@dezigner.ru

В статье рассмотрен способ контроля электрокардиосигнала (ЭКС), основанный на вычислении важнейших статистических параметров выборки результатов за период одного кардиоцикла и их сравнении со статистическими параметрами нормального ЭКС. Предлагаемый подход базируется на таких статистических параметрах, как коэффициент энтропии, контрэксцесс, среднее квадратическое отклонение, коэффициент асимметрии. Для анализа ЭКС построена траектория изменения положения изображающей точки кардиоцикла в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса в течение времени наблюдения. Эта траектория позволяет установить наличие или начало развития патологии сердца при выходе параметров за допустимые пределы в автоматическом режиме без привлечения медицинского персонала. Отклонение контролируемых статистических параметров ЭКС от параметров нормального сигнала свидетельствует о наличии патологии сердца.

Ключевые слова: электрокардиосигнал (ЭКС), функция распределения, статистическая обработка

ENTROPY-PARAMETRIC ECS PROCESSING

Bodin O.N., Ivanchukov A.G., Polosin V.G., Rakhmatullov F.K.

FGBOU VPO «Penza State University», Penza, e-mail: Anton@dezigner.ru

This paper considers the way of electrocardiosignal control (ECS control), which is based on the calculation of important statistical parameters of the results sample for the one period of the cardiac cycle and on their comparison with the statistical parameters of the results sample for the normal ECS control. The described way is based on such statistical parametres, as entropy factor, a counterexcess, an average quadratic deviation, asymmetry factor. For analysis ЭКС the trajectory of position change of a representing point for the cardiac cycle is constructed in space of a entropy factor and of a counterexcess during time of supervision. This trajectory allows to establish presence or the development beginning of heart pathologies in an automatic mode without the medical personnel if control parametres exits from admissible limits. The deviations of controllable statistical parametres ЭКС from parametres of a normal signal are the basis to start preventive actions or the reference in medical institution.

Keywords: the electric cardiac signal (ECS), the statistical processing, the distribution function

... одним из самых плодотворных способов описания характера изменчивости является применение соответствующего закона распределения, который определяет вероятность того, что результат измерения какого-либо параметра индивидуума, выбранного случайным образом, будет иметь любое заданное значение или лежать в определенном интервале значений ...

Н. Бейли [3]

Основная информация о состоянии сердца содержится в электрокардиосигнале (ЭКС), регистрирующем прохождение электрического импульса по проводящей системе сердца. Изменение двигательной активности человека, воздействие окружающей среды и заболевания сердца влияют на форму и длительность отдельных элементов кардиоцикла. Сложность строения такого биологического объекта, как сердечно-сосудистая система, не позволяет построить однозначную математическую модель между ЭКС и состоянием отдельных анатомических органов сердца. Наличие изменчивости внутренней организации сложной структуры объекта определяет вероятностное наблюдение характерных для объекта значений. В этих случаях для описания объектов прибегают к статистическим моделям, связывающим только наиболее важные параметры объекта исследования и учитывающие наличие изменчивости его внутренней структуры.

На рис. 1 показан характерный кардиоцикл здорового человека, где отмечены положения P, Q, R, S и T зубцов. Заболевания сердца искажают отдельные элементы кардиоцикла. Вероятность перехода системы в патологическое состояние зависит от отклонений в зубцах и сегментах ЭКС. Прогнозирование поведения сложного объекта возможно на основе современных статистических методов [5].

Настоящая статья посвящена особенностям анализа ЭКС здоровых людей на основе энтропийно-параметрической обработки.

Энтропийно-параметрический подход к анализу ЭКС

Своевременное прогнозирование сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) является приоритетным направлением современной медицины. В качестве эффективного

инструмента выбора формы для построения математической модели объекта наблюдения следует выделить анализ энтропии результатов наблюдения, разработанный для прогнозирования АВ блокад при контроле восстановления миокарда [1]. Для получения прогноза возникновения ИМ авторами работы предложен метод контроля состояния сердечно-сосудистой системы посредством наблюдения формирования траектории для положений изображающей точки состояния системы в пространстве коэффициента энтропии и контерэксцесса результатов анализа ЭКС, полученных в течение периода наблюдения. Если траектория изображающей точки выходит за пределы области допустимых положений или наблюдается её устойчивое движение к этой границе, то контролируемой системой выдаётся автоматическое сообщение о появлении опасных симптомов развития заболевания. Ранее подобный способ исследования поведения изображающей точки сложного объекта в энтропийно-параметрических осях показал хорошие результаты при получении аппроксимаций измерений с помощью распределения Вейбулла – Гнеденко [4].

Для получения прогноза ИМ с помощью методов статистического анализа ЭКС осуществляют построение функции распределения выборки результатов в течение периода наблюдения. На рис. 2 показана характерная гистограмма распределения для одного кардиоцикла. Распределение, построенное для кардиоцикла (см. рис. 1), имеет следующие статистические параметры: коэффициент энтропии $K_э = 1{,}34$; контрэксцесс $к = 0{,}286$; среднее квадратическое отклонение $\sigma = 328$ мВ, коэффициент асимметрии $Sk = 2{,}56$.

Траектория изображающей точки

Непрерывный контроль состояния сердца возможен на основе наблюдения за такими характерными статистическими параметрами, как центральные моменты и энтропийно-параметрический потенциал. Наличие ССЗ обуславливает изменение формы ЭКС, что в свою очередь отразится на параметрах статистического распределения. К примеру, при исчезновении *T*-зубца в ЭКС, из распределения изымаются значения 3, соответствующие *T*-зубцу, и добавятся значения 2, близкие к изолинии (см. рис. 2).

Подобное перераспределение значений между областями группирования данных в гистограмме обусловит изменение формы распределения и уменьшение коэффициента энтропии распределения. При этом параметры распределения примут значения: коэффициент энтропии $K_э = 0{,}733$; контерэксцесс $к = 0{,}21$; среднее квадратическое отклонение $\sigma = 289$; коэффициент асимметрии $Sk = 4$.

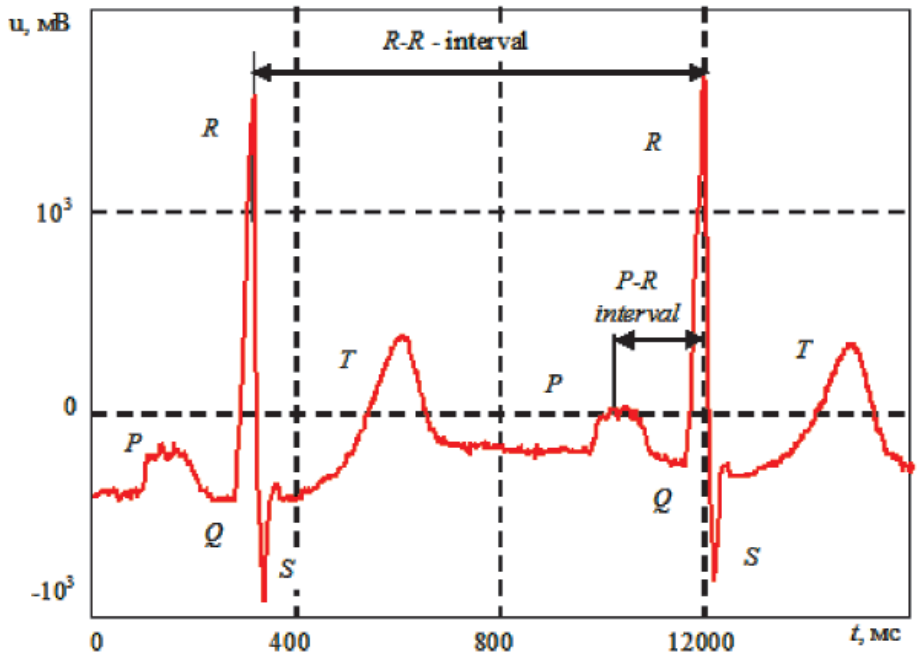


Рис. 1. Характерные интервалы кардиоцикла здорового человека

Изменение коэффициента энтропии, эксцесса и асимметрии свидетельствуют об изменении формы распределения. Следовательно, на основе контроля формы распределения значений ЭКС возможен эффективный контроль состояния пациента. Для этого ЭКС оцифровывается через временные промежутки Δt и относительно момента времени t_1 выделяется выборка результатов измерений в интервале времени $[t_1 - T_ц/2,\ t_1 + T_ц/2]$ одного периода кардиоцикла $T_ц$. Тогда для расчёта центрального момента n-го порядка $\mu_n(t_1)$ и энтропийный потенциал $\Delta_э(t_1)$ выборки значений в выделенном интервале для произвольного момент времени t_1 справедливы выражения вида:

$$\mu_n(t_1) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{m} n_j(t_1)\cdot\left(\left(j - \frac{1}{2}(N+1)\right)\cdot\Delta u\right)^n; \quad (1)$$

$$\Delta_э(t_1) = \frac{1}{2}N\cdot\Delta u\cdot\exp\left(-\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{m} n_j(t_1)\cdot\ln\left(n_j(t_1)\right)\right), \quad (2)$$

где Δu – ширина интервала группирования данных, равная отношению аппаратного заданного диапазона изменения сигнала кардиограммы $u_д$ к числу $m = \sqrt{N}$ группирования данных: $\Delta u = \frac{1}{m}u_д$; N – число значений в выборке обрабатываемого кардиоцикла: $N = \left[\frac{T_ц}{\Delta t}\right]$; $n_j(t_1)$ – число значений, попавших j-й в интервал группирования данных

$$\left[\left(j - \frac{1}{2}N\right)\cdot\Delta u + M(t_1)\right] \le u_д < \left[\left(j + \frac{1}{2}N\right)\cdot\Delta u + M(t_1)\right];$$

$M(t_1)$ – математическое ожидание для выборки значений за период кардиоцикла:

$$M(t_1) = \frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N} u(t_i - t_1). \quad (3)$$

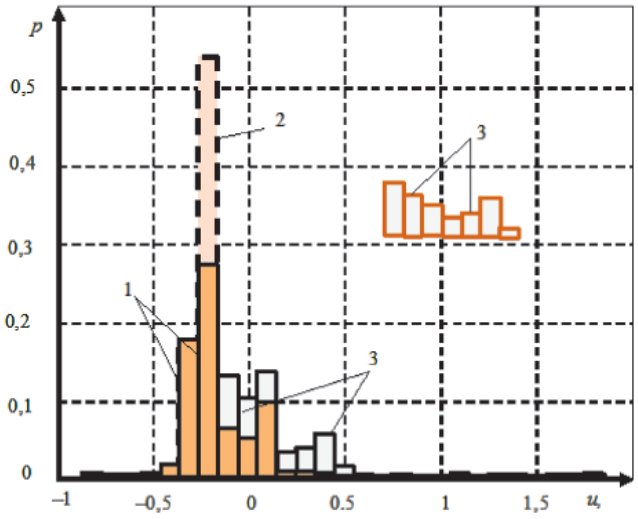


Рис. 2. Распределение выборки значений для одного кардиоцикла:
1 – распределение для кардиоцикла здорового пациента;
2 – изменение распределения при отсутствии зубца T;
3 – распределение значений для T-зубца

Выражения (1), (2) и (3) позволяют получить кинетические уравнения для изменения коэффициента энтропии, асимметрии и контрэксцесса во времени. Кинетическое уравнение для коэффициента энтропии получим, разделив выражение (2) для

энтропийного потенциала на корень квадратный выражения (1), записанное для 2-го центрального момента:

$$K_э(t_1) = \frac{\Delta_э(t_1)}{\sqrt{\mu_2(t_1)}} = \frac{1}{2}N\sqrt{N}\frac{\exp\left(-\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{m} n_j(t_1)\cdot\ln\left(n_j(t_1)\right)\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(n_j(t_1)\cdot\left(j-\frac{1}{2}(N+1)\right)^2\right)}}. \quad (4)$$

Кинетическое уравнение для контрэксцеса получаем, разделив квадрат второго центрального момента $\mu_2(t_1)$ (выражение (1) при $n = 2$) на четвёртый центральный момент $\mu_4(t_1)$ (выражение (1) при $n = 4$):

$$\kappa(t_1) = \frac{\mu_2(t_1)}{\sqrt{\mu_4(t_1)}} = \frac{1}{\sqrt{N}}\cdot\frac{\sum_{j=1}^{m} n_j(t_1)\cdot\left(j-\frac{1}{2}(N+1)\right)^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} n_j(t_1)\cdot\left(\left(j-\frac{1}{2}(N+1)\right)\right)^4}}. \quad (5)$$

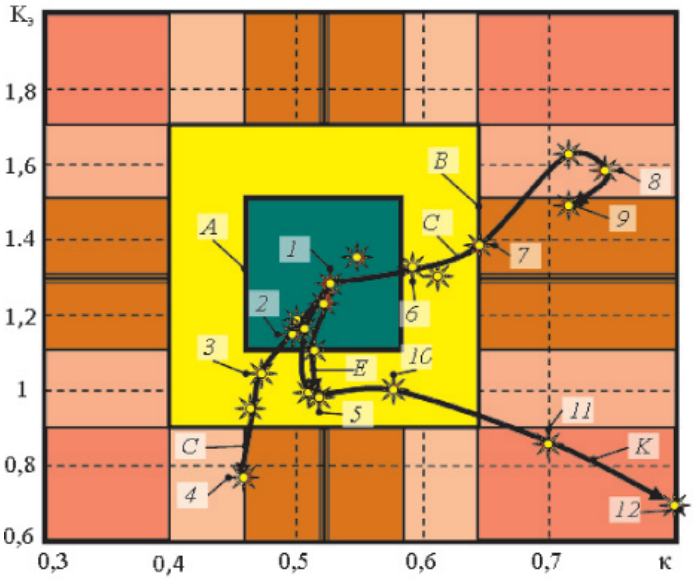


Рис. 3. Области допустимых значений для кардиограммы здорового человека в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса

Если ЭКС не меняется при переходе от одного кардиоцикла к другому, то состав выборки значений также остаётся неизменным, что обуславливает неизменность центральных моментов и энтропийного потенциала. Следовательно, остаются неизменными коэффициент энтропии и контрэксцес. Наличие изменений в кардиоциклах приведёт к изменению параметров распределения. При этом изменение зубцов и сегментов ЭКС изображается в пространстве энтропийного коэффициента и контрэксцесса в виде траекторий изображающей точки. При этом различным формам ЭКС здорового пациентов в пространстве энтропийного коэффициента и контрэксцесса возможно задание такой области допустимых значений, для которой траектория изображающей точки не выйдет за пределы границ этой области.

На рис. 3 показаны области допустимых значений для кардиограммы здорового пациента в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса. На данном рисунке указаны следующие обозначения: *A* – граница области положения изображающей точки для здоровых пациентов; *B* – граница области положения изображающей точки для пациентов с наличием заболевания; C – траектория перемещения изображающей точки при изменении состояния пациента от здорового в точке 1 к состоянию наличия заболевания в точке 4, диагностируемом по исчезновению *T*-зубца, где точки 2 и 3 соответствуют уменьшению высоты *T*-зубца до 60 и 40 % от исходной его высоты; *D* – траектория перемещения изображающей точки при изменении состояния пациента от состояния «пациент здоров» в точке 1

к состоянию ССЗ в точке 9, диагностируемому по полному исчезновению *R*-зубца, где точки 6, 7 и 8 соответствуют уменьшению высоты *R*-зубца до 70, 60 и 25 % от его начального значения; *E* – траектория перехода от состояния «пациент здоров» в точке 1 к состоянию ССЗ в точке 5, диагностируемому по полному или частичному исчезновению одного из зубцов: *P*-зубца или *S*-зубца; *K* – траектория перемещения изображающей точки от состояния «пациент здоров» в точке 1 к состоянию ССЗ «Инфаркт миокарда», диагностируемому в точках 11 и 12 по непосредственному переходу от *R*-зубца к *T*-зубцу на высоте 0,8 от высоты *T*-зубца и на высоте половины *R*-зубца соответственно. Точка 10 соответствует началу развития «инфаркта миокарда».

Заключение

Таким образом, статистический анализ выборки измерений ЭКС за один кардиоцикл может устанавливать наличие ССЗ на основании исследования статистических параметров функции распределения в пространстве энтропийного коэффициента и контрэксцесса посредством контроля результатов статисческого анализа ЭКС по положению изображающей точки. Для этого выделена область допустимых статистических параметров, при которых патологии отсутствуют. Отклонение энтропии или контрэксцесса выборки результатов ЭКС за пределы допустимой области значений свидетельствует о наличии искажения ЭКС, что в свою очередь свидетельствует о какой-либо имеющейся патологии сердца. Выделение в пространстве коэффициента энтропии и контрэксцесса областей «Здоров», «Возможно ССЗ» и «Болен» позволяет проводить предварительный диагноз ССЗ в автоматическом режиме, который способен сигнализировать о необходимости введения ограничений на двигательную активность и, при необходимости, срочном обращении за неотложной помощью в медицинское учреждение. Использование смартфона в качестве платформы для такой системы позволяет выполнять анализ ЭКС при мониторинге состояния человека в условиях свободной двигательной активности. Также следует отметить, что рассмотренный анализ патологий ЭКС выполняется по «искажению» кардиосигналов с помощью вычислительных средств без участия высококвалифицированного медицинского персонала.

Список литературы

1. Балахонова С.А., Бодин О.Н., Полосин В.Г. Разработка и исследование моделей восстановления миокарда для прогнозирования АВ блокад / Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2013. – № 12. – С. 59–64.

2. Барбараш Л.С. Европейская программа «STENT FOR LIFE»: предпосылки, история создания, основные цели и задачи // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2013. – № 1. – С. 10–18.

3. Бейли Н. Математика в биологии и медицине. – М.: Мир, 1970. – 327 с.

4. Полосин В.Г., Тертычная С.В. Анализ результатов измерения объёмной активности радона с помощью распределения Вейбулла – Гнеденко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2009. – № 1. – С. 127–133.

5. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В., Рыжаков К.В. Прогнозирование поведения сложных объектов на основе представлений нечётких ситуаций: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2005. – 100 с.

6. Радаев Н.Н. Повышение точности прогноза событий, инициирующих чрезвычайные ситуации // Измерительная техника. – 2002. – № 5. – С. 13–20.

7. Титомир Л.И. Биофизические основы электрокардиотопографических методов. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2009. – 224 с.

8. Чазов Е.И., Бойцов С.А. Пути снижения сердечно-сосудистой смертности в стране // Кардиологический вестник. – 2009. – № 1. – С. 5–10.

References

1. Balahonova S.A., Bodin O.N., Polosin V.G. Razrabotka i issledovanie modelej vosstanovlenija miokarda dlja prognozirovanija AV blokad / Mehatronika. Avtomatizacija. Upravlenie. 2013. no. 12. pp. 59–64.

2. Barbarash L.S. Evropejskaja programma «STENT FOR LIFE»: predposylki, istorija sozdanija, osnovnye celi i zadachi // Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyh zabolevanij. 2013. no. 1. pp. 10–18.

3. Bejli N. Matematika v biologii i medicine. M.: Mir, 1970. 327 p.

4. Polosin V.G., Tertychnaja S.V. Analiz rezul'tatov izmerenija objomnoj aktivnosti radona s pomoshh'ju raspredelenija Vejbulla-Gnedenko // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Fiziko-matematicheskie nauki. 2009. no. 1. pp. 127–133.

5. Ryzhakov V.V., Ryzhakov M.V., Ryzhakov K.V. Prognozirovanie povedenija slozhnyh obektov na osnove predstavlenij nechjotkih situacij: uchebnoe posobie. M.: MFTI, 2005. 100 p.

6. Radaev N.N. Povyshenie tochnosti prognoza sobytij, iniciirujushhih chrezvychajnye situacii // Izmeritel'naja tehnika. 2002. no. 5. pp. 13–20.

7. Titomir L.I. Biofizicheskie osnovy jelektrokardiotopograficheskih metodov. M.: FIZMATLIT. 2009. 224 p.

8. Chazov E.I., Bojcov S.A. Puti snizhenija serdechno-sosudistoj smertnosti v strane // Kardiologicheskij vestnik. 2009. no. 1. pp. 5–10.

Рецензенты:

Чувыкин Б.В., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы», ПГУ, г. Пенза;

Трофимов А.А., д.т.н., профессор, заместитель начальника учебно-научного центра ОАО «НИИФИ», г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 621.113

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ РАСХОДА ЖИДКИХ ТОПЛИВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Борисов Г.В., Лелиовский К.Я., Пачурин Г.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru

В настоящее время существует много методов определения расхода топлива автомобилей, среди которых экспериментальные, статистические и аналитические. Экспериментальные и статистические методы предполагают длительные, дорогостоящие эксперименты, сбор и анализ статистических данных. В результате предлагаются эмпирические коэффициенты, либо аппроксимирующие зависимости в нормировании и корректировании расхода топлива. Аналитические методы дают возможность определения расхода топлива в условиях ограниченности времени, финансирования экспериментов, исходных данных о маршруте и т.д., поэтому они предпочтительнее в условиях работы современных АТП. В работе предложена целостная аналитическая методика определения расхода топлива от этапа сбора исходных данных до конечного результата. Практические исследования подтверждают состоятельность данной методики, поэтому она рекомендуется для использования всем заинтересованным лицам. Данные материалы могут быть полезными для специалистов, занимающихся эксплуатацией автомобильного транспорта, преподавателей и студентов вузов соответствующего профиля.

Ключевые слова: техническая эксплуатация автомобилей, коммерческая эксплуатация автомобилей, расход топлива автомобилей, нормирование расхода топлива автомобилей

THE QUESTION OF LIQUID CONSUMPTION RATIONING FUELS ROAD TRANSPORT

Borisov G.V., Leliovsky K.Y., Pachurin G.V.

FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru

Currently, there are many methods of determining the fuel consumption of vehicles, including experimental, statistical and analytical. Experimental and statistical methods involve lengthy, costly experiments, collecting and analyzing statistical data. As a result, available empirical coefficients, or approximating dependencies in normalization and adjusting fuel consumption. Analytical methods make it possible to determine the fuel consumption under time constraints, funding experiments, baseline data on the route, etc., so they are preferable to the operating conditions of modern ATP. The paper presents a holistic analytical technique for determining the fuel consumption of the initial data collection phase to the final result. Empirical studies confirm the viability of this technique, so it is recommended for all interested parties. These materials may be useful for professionals engaged in the operation of road transport, teachers and students of the corresponding profile.

Keywords: technical maintenance of cars, commercial operation of vehicles, fuel consumption of cars, rationing of fuel consumption of cars

В настоящее время нормирование топлива на автомобильном транспорте осуществляется согласно «Нормам расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте» по распоряжению Минтранса России № АМ-23-р от 14.03.2008 (далее Нормы), дополненным распоряжением Минтранса РФ № НА-50-р от 14.05.2014. Предложенные значения базовых линейных расходов топлив различных моделей автомобилей основаны на рекомендациях производителей автотранспортной техники, основаны на ранее осуществленных полигонных испытаниях подобной техники, либо рассчитаны по разработанной в 1996 г. НИИАТом и утвержденной бессрочно Минтрансом методике определения базовых норм расхода топлива. Предложенные выражения расчета нормируемого количества топлива учитывают в основном пробеги, транспортную работу и расход топлива при отборе мощности двигателя (на дополнительное оборудование, отопители салона и т.д.). Корректирование нормируемого расхода топлив осуществляется на основе специфики работы различных видов транспорта с помощью надбавок к базовой (линейной) норме расхода топлива [5].

Реальные расходы топлив отличаются от полученных по Нормам значений как в большую, так и в меньшую сторону и чаще всего не соответствуют действительности, поскольку не учитывают следующие, значительно влияющие на расход топлива факторы:

– *состояние дорожной поверхности по маршруту* следования или категория дорог (учитывается через суммарное дорожное сопротивление);

– *скорость движения автотранспортных средств (АТС) по маршруту* следования (существуют подробные методики рас-

чета средней скорости АТС по маршруту, например [6], исходя из технических возможностей АТС и состояния дороги, изменение которых носит случайный характер);

– *часовой расход топлива двигателем или удельный эффективный расход топлива* (действующая согласно Нормам надбавка на работу двигателя на стоянке (1 час простоя с работающим двигателем соответствует 10 км пробега автомобиля) установлена для любых автомобилей, что не соответствует действительности).

Кроме этого, вызывают сомнения значения коэффициентов $H_д$ и $H_н$, поскольку они были установлены для автомобилей, давно снятых с производства, и не могут быть адекватно применены для современной техники.

К настоящему времени проведено множество научных работ в области определения тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик АТС, в результате которых разработаны несколько методик определения и корректирования расхода топлива автомобилей, но они, как правило, учитывают один либо несколько недостатков существующей законодательно методики, изложенной в Нормах. В других случаях предлагаются дополнительные коэффициенты либо показатели оценки работы подвижного состава с точки зрения топливной экономичности. Между тем методика расчета и нормирования расхода топлива должна иметь целостный характер, наиболее полно учитывающий специфику работы различных видов транспорта и имеющий подтверждение с научной и практической точки зрения.

Методики определения расхода топлива АТС

В общем случае существуют следующие методики определения расхода топлива АТС:

– *экспериментальные* (проведение длительных испытаний – замеров расхода топлива для конкретных АТС в заданных условиях эксплуатации – в результате предлагаются эмпирические коэффициенты или аппроксимирующие зависимости);

– *статистические* (сбор и обработка статистических данных в условиях конкретных АТП в различных условиях эксплуатации – в результате также предлагаются эмпирические коэффициенты или аппроксимирующие зависимости);

– *аналитические* (расчет либо корректировка нормируемого значения расхода топлива при известных исходных данных АТС и маршрута движения).

Обзор диссертационных работ по специальностям 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» и 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» за последние 30 лет (начиная с 1983 г.) показал, что наибольшее предпочтение уделено экспериментальным и статистическим методам определения расхода топлива. Вместе с тем именно аналитические методики в силу их естественных преимуществ – отсутствие необходимости проведения длительных и дорогостоящих экспериментов, минимум затраченного времени для получения результата и т.д. – необходимы для практического использования работниками АТП.

Аналитическая методика нормирования расхода топлив автомобильным транспортом

Сотрудниками Института транспортных систем НГТУ им. Р.Е. Алексеева совместно со специалистами по различным типам двигателей были проведены экспериментальные и теоретические исследования по изучению нагрузочных характеристик современных бензиновых и дизельных двигателей [7], результаты которых позволяют рекомендовать к применению аналитическую методику нормирования расхода топлив автомобильным транспортом, применительно к регулярным перевозкам грузов или пассажиров (например, при осуществлении международных автомобильных перевозок грузов или пассажиров, осуществляемых частными компаниями, а также пригородных и междугородных перевозок пассажиров, осуществляемых муниципальными пассажирскими автопредприятиями).

В общем виде алгоритм предлагаемой методики состоит из постановки нескольких задач, последовательное решение которых позволяет получить (планировать) приближенное к реальности значение расхода топлив на маршрутах (рис. 1).

В результате определяется не дискретное значение расхода топлива (как предопределено Нормами), а диапазон расхода, исходя из конкретных применяемых (реализуемых водителями) режимов движения АТС на маршруте. При этом в условиях АТП либо законодательно можно нормировать минимальное значение данного диапазона, поскольку, как показывают расчеты, оно соответствует движению с соблюдением требований безопасности дорожного движения, к тому же являющемуся «щадящим» по отношению к АТС, с точки зрения технической эксплуатации автомобилей. Здесь уместно также указать, что минимальное значение получаемого диапазона практически всегда (за исключением движения в городских условиях и в некоторых других случаях, например при учебной езде) меньше рассчитанного согласно действующим Нормам и согласуется

с небольшими отклонениями с реальными расходами топлива седельными автопоездами с тягачами Scania, MAN, Iveco, МАЗ, КамАЗ, что подтверждается актами замера расхода топлива на АТП, предоставившими их для целей данной работы и проводимыми ТрансЕвроТест и АСМАП в 1995–1996 гг. испытаниях [1, 2].

Рис. 1. Блок-схема методики нормирования расхода топлив

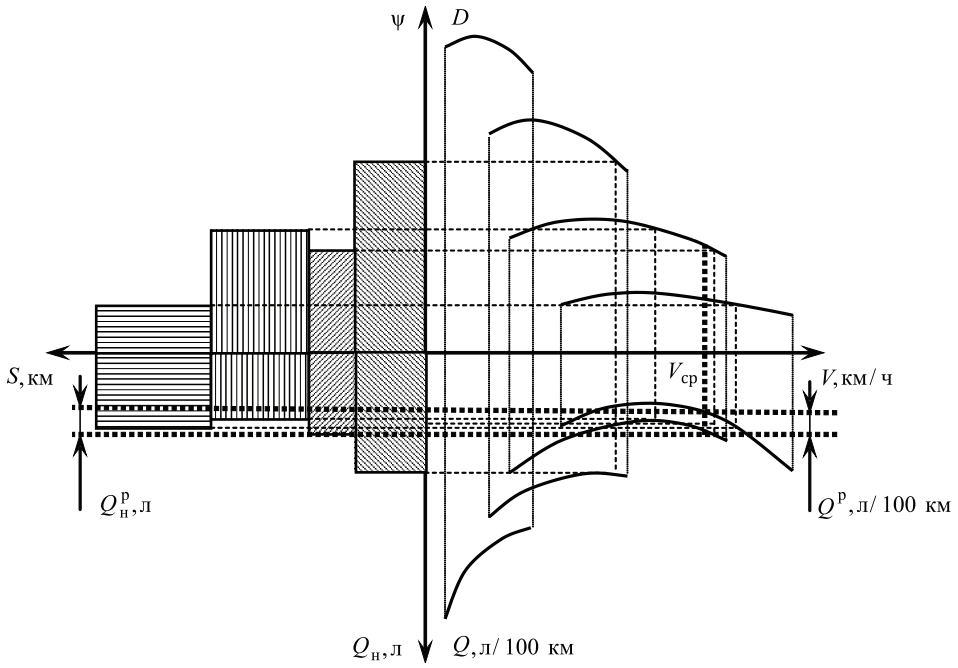


Рис. 2. Графическое отображение методики нормирования расхода топлив:
D – динамический фактор; ψ – суммарное дорожное сопротивление; V – скорость движения; $V_{ср}$ – расчетная средняя скорость движения на маршруте; S – пройденное расстояние (длины участков с определенным дорожным сопротивлением / коэффициентом сопротивления качению); Q_s – путевой расход топлива; Q^p_s – реализуемое значение путевого расхода топлива; $Q_н$ – нормируемое значение расхода топлива; $Q^p_н$ – реализуемое значение нормируемого расхода топлива

Предлагаемая методика позволяет прогнозировать эксплуатационный расход топлива АТС для заданных дорожных условий движения [4], точнее планировать график работы грузовых автомобилей, работающих на регулярных международных перевозках, или автобусов, работающих на конкретных маршрутах (рис. 2). При необходимости учета специфических условий эксплуатации (городское движение, низкие температуры и т.д.) полученное значение расхода топлива можно корректировать с использованием предлагаемых в научной литературе эмпирических или аппроксимирующих зависимостей, полученных в результате диссертационных исследований за последние 30 лет [3, 8].

Пошаговое описание предлагаемой аналитической методики определения расхода топлив на АТ на примере 5-осных седельных автопоездов в составе 2-осных тягачей и 3-осных полуприцепов представлено в таблице.

Аналитическая методика определения расхода топлива

I. Расчет максимально допустимой массы груза	
Исходные данные:	1. Геометрические размеры и массы грузовых мест; схема загрузки АТС; общая масса груза, предлагаемая к перевозке Q; 2. Геометрические и весовые характеристики АТС: база тягача L; расстояние от центра передней оси тягача до оси ССУ h; расстояние от передней стенки до оси шкворня ССУ полуприцепа a; расстояние от оси шкворня до центральной оси тележки полуприцепа S; масса тягача, приходящаяся на переднюю ось, m_1; масса тягача, приходящаяся на заднюю ось, m_2; масса полуприцепа, приходящаяся на шкворень ССУ, $m_с$; масса полуприцепа, приходящаяся на тележку, m_3
Операции:	1. Определение расстояния от оси шкворня ССУ до центра тяжести груза z: $$z = x_ц - a,$$ где $x_ц = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$ – абсцисса центра тяжести груза, м; m_i – масса i-го ряда груза, т; x_i – координата (абсцисса) центра тяжести i-го ряда груза, м. 2. Определение нагрузки на тележку полуприцепа P_3: $$P_3 = \frac{Q \cdot z}{S} + m_3 \le P_3^{доп}.$$ 3. Определение нагрузки на ССУ $P_с$: $$P_с = G_{пп} - P_3,$$ где $G_{пп}$ – полная масса полуприцепа. 4. Определение нагрузки на заднюю ось тягача P_2: $$P_2 = \frac{P_с \cdot h}{L} + m_2 \le P_2^{доп}.$$ 5. Определение нагрузки на переднюю ось тягача P_2: $$P_1 = P_с + G_{0т} - P_2 \le P_1^{доп}.$$ 6. Определение допустимой массы груза при заданных ограничениях $P_2^{доп}$, $P_3^{доп}$: $$Q_2 = \left[\frac{\left(P_2^{доп} - m_2\right) \cdot L}{h} - m_с\right] \cdot \frac{S}{S - z}; \quad Q_3 = \frac{P_3^{доп} - m_3}{z} \cdot S.$$ 7. Определение допустимой массы груза при заданном ограничении полной массы $P_{пм}$: $$Q_{пм} = P_{пм} - G_0,$$ где G_0 – снаряженная масса автопоезда. 8. Определение допустимой массы груза $Q_{доп}$: $$Q_{доп} = \min(Q_2, Q_3, Q_{пм})$$
	1. Значение допустимой массы груза $Q_{доп}$. Примечание. При заданной массе груза, отвечающей условиям пп. 6 и 7, производить данный расчет не обязательно

II. Определение средней скорости движения по маршруту	
Исходные данные:	1. Масса перевозимого груза $Q_{доп}$; 2. Конструкционные параметры АТС: G_0; мощность двигателя P_e при оборотах n_e; крутящий момент двигателя T_e; радиус качения шин $r_к$; колея тягача B; высота АТС с полуприцепом H; коэффициент обтекаемости кабины c_x; общий КПД двигателя и трансмиссии η; передаточные числа коробки передач $i_{кп}$; передаточное число главной передачи i_0. 3. Характеристики маршрута: коэффициент сопротивления качению f; угол продольного уклона участка дороги α; длина участков маршрута S_j; общая длина маршрута S
Операции:	1. Максимальная скорость АТС на каждой передаче V_i: $$V_i = 0{,}377\,\frac{n_e \cdot r_к}{i_{кп} \cdot i_0},\ км/ч.$$ 2. Динамический фактор на каждой передаче D_i: $$D_i = \frac{F_m - F_w}{G_{ап}},$$ где $F_т = \frac{T_e i_{тр} \eta}{r_к}$ – сила тяги на ведущих колесах; $F_w = \frac{W \cdot V^2}{13}$ – сила сопротивления воздуха; $G_{ап}$ – полный вес автопоезда. 3. Построение динамической характеристики АТС как функции $D = f(V)$ для всех существующих передач КП АТС. Примечание. Построение данной зависимости по нескольким значениям V (не менее 5 значений) облегчит в дальнейшем построение и использование топливно-экономической характеристики и повысит общую точность определения расхода топлива. При разовом использовании методики достаточно определить D_i для рассчитанных значений V_i. 4. Относительный путь движения на каждой передаче k_i: $$k_i = \Phi\left(\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}\right) - \Phi\left(\frac{D_{i+1} - m_\psi}{\sigma_\psi}\right),$$ где m_ψ – математическое ожидание дорожного сопротивления ψ; σ_ψ – среднеквадратическое отклонение дорожного сопротивления; $\Phi(z)$ – значение нормированной функции при аргументе $z = \frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}$. 5. Относительное время движения на каждой передаче γ_i: $$\gamma_i = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^{n} \frac{k_i d_i}{\delta_i}},$$ где $d_i = \frac{V_n}{V_i}$ – коэффициент отношения скоростей, $V_п$ = 86 км/ч – предельная скорость движения АТС с ограничителем ЧВКВ; $\delta_i = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{\frac{V_i}{V_{i-1}}}\right)$ – коэффициент выбора закона распределения скоростей по передачам (для нормального закона распределения). 6. Определение средней скорости движения АТС на каждом участке маршрута V_{cj}: $$V_{cj} = 0{,}27\,P_{уд}\eta_i \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i \gamma_i}{F_{iN}},$$ где $P_{уд} = \frac{P_e}{G_{ап}}$ – удельная мощность двигателя; $F_{iN} = \frac{F_т}{G_{ап}}$ – удельная сила тяги; $G_{ап}$, m – полная масса автопоезда. 7. Построение графической зависимости $V_{cj} = \varphi(f)$ во всем практически существующем диапазоне значений коэффициента сопротивления качению f. Примечание. Построение данной зависимости избавит в дальнейшем от определения V_{cj} для маршрутов с отличными от заданных значений f для данного типа АТС.

	8. Определение средней скорости движения по маршруту $V_{ср}$: $$V_{ср} = \sum_{j=1}^{m} V_{cj} W_j,$$ где $W_j = \frac{S_j}{S}$ – частота встречи участка маршрута того или иного типа; m – количество участков маршрута с различными характеристиками.
Результат:	1. Динамическая характеристика $D = f(V)$ для данного типа АТС. 2. Графическая зависимость $V_{cj} = \varphi(f)$ для данного типа АТС. 3. Значение средней скорости движения АТС по маршруту $V_{ср}$.
III. Построение топливно-экономической характеристики	
Исходные данные:	1. Исходные данные для определения средней скорости движения АТС по маршруту (п. II); 2. Дополнительно: внешняя скоростная характеристика двигателя (ВСХ) как функция P_e, T_e, часового расхода топлива $G_т$, удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения коленчатого вала двигателя (ЧВКВ) n.
Операции:	1. Определение эффективной мощности двигателя P_e и эффективного крутящего момента T_e при значениях частоты вращения коленвала, соответствующих выбранным значениям скоростей движения на каждой передаче по ВСХ. Примечание: при отсутствии ВСХ указанные величины определяются по аналитическим выражениям (приводят к увеличению погрешности расчета): $$P_{ei} = P_e^{\max} \cdot \left[A \cdot \left(\frac{\omega_{ei}}{\omega_{eP}} \right) + B \cdot \left(\frac{\omega_{ei}}{\omega_{eP}} \right)^2 - C \cdot \left(\frac{\omega_{ei}}{\omega_{eP}} \right)^3 \right],$$ где $A = \frac{K_T \cdot K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$; $B = -\frac{2 \cdot K_\omega \cdot (K_T - 1)}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$; $C = -\frac{K_\omega^2 \cdot (K_T - 1)}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$ – эмпирические коэффициенты, причем $A + B - C = 1$; ω_{eP} – значение угловой скорости при максимальной мощности; $\omega_{ei} = 0{,}105 n_e$ – значения угловых скоростей для соответствующих передач; $K_\omega = \frac{\omega_{eP}}{\omega_{eT}} = \frac{n_{eP}}{n_{eT}}$ – коэффициент приспособляемости двигателя по угловой скорости; ω_{eT} – угловая скорость при максимальном крутящем моменте; $K_T = \frac{T_{e\max}}{T_{eP}}$ – коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту; T_{eP} – значение крутящего момента при максимальной мощности. $$T_{ei} = \frac{9570 \cdot P_e}{n_e} = \frac{0{,}105 \cdot 9570 \cdot P_e}{\omega_e}.$$ 2. Определение степени использования мощности двигателя И для заданных типов дорог при движении на каждой передаче: $$И_{\psi_j i} = \frac{P_{\psi_j i} + P_{wi}}{P_{ei} \cdot \eta},$$ где $P_{\psi_j i} = \psi_j \cdot G_{ап} \cdot V_i$, кВт – мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление суммарного дорожного сопротивления для разных типов дорог при движении на каждой передаче; $\psi = f\cos\alpha \pm \sin\alpha$; $P_{wi} = W \cdot V_i^3$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха при движении на каждой передаче. 3. Определение удельного эффективного расхода топлива двигателем при движении на каждой передаче по заданным типам дорог g_e: $$g_{e\psi_j i} = g_{eP} \cdot k_{Ei} \cdot k_{И\psi_j i}$$ где g_{eP}, г/кВтч – удельный эффективный расход топлива двигателем при максимальной мощности; $k_E = 1{,}25 - 0{,}99 E_i + 0{,}98 E_i^2 - 0{,}24 E_i^3$ – коэффициент, учитывающий степень использования угловой скорости коленчатого вала двигателя; $E_i = \frac{\omega_{ei}}{\omega_{ep}}$ – степень использования угловой скорости коленчатого вала двигателя; $k_И = 3{,}52 - 17{,}24И + 44{,}85И^2 - 55{,}28И^3 + 31{,}23И^4 - 6{,}08И^5$ – коэффициент, учитывающий степень использования мощности двигателя при движении по заданным типам дорог.

	4. Построение топливно-экономической характеристики автомобиля $Q_s = f(V_а, \psi)$: $$Q_s = \frac{g_{e\psi_j i} \cdot \left(P_{\psi_j i} + P_{wi}\right)}{36 \cdot \rho_т \cdot V_i \cdot \eta_{тр}},$$ где $\rho_т$ – плотность топлива, кг/л (для дизельных топлив $\rho_т$ = 0,82 кг/л)
Результат:	1. Топливно-экономическая характеристика АТС $Q_s = f(V_а, \psi)$. Примечание: при разовом использовании методики достаточно построить указанные характеристики для передач, на которых реализуется средняя скорость.
IV. Определение расхода топлива АТС на маршруте	
Исходные данные:	1. Динамическая характеристика АТС $D = f(V)$; 2. Топливно-экономическая характеристика АТС $Q_s = f(V_а, \psi)$; 3. Характеристики маршрута: суммарное дорожное сопротивление ψ участков маршрута; длина участков маршрута S_j; общая длина маршрута S.
Операции:	1. Совмещение полученных характеристик в IV-квадрантной системе координат (рис. 2): I – квадрант: динамическая характеристика АТС; II – топливно-экономическая характеристика; III – количество топлива $Q_н$, расходуемое на участках маршрута S; IV – величины суммарных дорожных сопротивлений на участках маршрута. 2. Графическое определение диапазона изменения расхода топлива (рис. 2): На шкале абсцисс ($V_а$) отмечается расчетное значение средней скорости движения по маршруту Vср. Проекция в I квадрант (вверх) дает представление о тяговых возможностях АТС на реализуемых передачах; проекция во II квадрант – диапазон расхода топлива Q_s, л/100 км, на реализуемых передачах; проекции с IV квадранта (по значениям ψ) на динамическую характеристику (I квадрант), затем во II квадрант до максимальных (или минимальных) значений Q_s дает представление (проекция в III квадрант) о максимальном (минимальном) количестве топлива $Q_н$, л, затрачиваемых на каждом участке заданного маршрута. 3. Аналитическое определение диапазона изменения расхода топлива Q_s: Построение указанной номограммы расхода топлива (п. 2) для данного типа АТС дает возможность работникам предприятия в дальнейшем не использовать вышеописанные расчеты, но для обеспечения высокой точности расчетов (либо проверки полученных результатов) можно использовать аналитическое выражение Q_s (п. III.4), подставив в знаменатель значение $V_{ср}$, а остальные значения в выражении – для реализуемых передач: $$Q_s = \frac{g_{e\psi_j i} \cdot \left(P_{\psi_j i} + P_{wi}\right)}{36 \cdot \rho_m \cdot V_{ср} \cdot \eta_{тр}}.$$ 4. Определение реализуемого значения расхода топлива на маршруте Q_s^p: $$Q_{s\,ср}^{V_{ср}} = \sum_{j=1}^{m} Q_{s\,\psi_j}^{V_{ср}} \cdot W_j, \text{ л/100 км.}$$
Результат:	1. Номограмма расхода топлива. 2. Диапазон изменения путевого расхода топлива на заданном маршруте. 3. Реализуемое значение расхода топлива на маршруте $Q_{s\,ср}^{V_{ср}}$
Общий результат: Реализуемое значение расхода топлива $Q_{s\,ср}^{V_{ср}}$	

Выводы

Практические исследования подтверждают состоятельность данной методики, поэтому она рекомендуется для использования всем заинтересованным лицам.

Предлагаемая методика позволяет:

– прогнозировать эксплуатационный расход топлива автотранспортных средств в заданных дорожных условиях движения;

– точнее планировать график работы грузовых автомобилей, работающих на регулярных международных перевозках, или автобусов, работающих на конкретных маршрутах.

Представленные материалы могут быть полезны специалистам по эксплуатации автомобильного транспорта, преподавателям и студентов вузов соответствующего профиля.

Список литературы

1. Балабаева И.Н. Арктические испытания автопоездов // Автомобильный транспорт. – 1995. – № 10. – С. 41–43.

2. Закурдаев К.Е. Покоритель километров под звездой удачи // Автомобильный транспорт. – 1996. – № 1. – С. 28–30.

3. Кузьмин Н.А. Разработка научных основ обеспечения работоспособности теплонагруженных деталей автомобильных двигателей: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук; Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2006.

4. Кузьмин Н.А., Борисов Г.В. Расчет осевых нагрузок для определения допускаемой массы груза в кузове автотранспортных средств: метод. указания к практическим занятиям по курсу «Международные автомобильные перевозки», НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2008. – 10 с.

5. Кузьмин Н.А. Проблема нормирования расходов автомобильных топлив и смазочных материалов в РФ // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 8. – С. 20–22.

6. Новиков О.А. Вероятностные методы решения задач автомобильного транспорта / О.А. Новиков, В.Н. Уваров. – М.: Транспорт, 1969. – 136 с.

7. Песков В.И. Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля: монография / В.И. Песков, В.И. Сердюк, А.Е. Сердюк; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 135 с.

8. Плеханов Д.К. Стратегии диспетчерского управления работой грузовых автомобилей при массовых перевозках / Д.К. Плеханов, Н.А. Кузьмин // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 12. – С. 40–41.

References

1. Balabaeva I.N. Arkticheskie ispytanija avtopoezdov // Avtomobil'nyj transport. 1995. no. 10. pp. 41–43.

2. Zakurdaev K.E. Pokoritel' kilometrov pod zvezdoj udachi // Avtomobil'nyj transport. 1996. no. 1. pp. 28–30.

3. Kuz'min N.A. Razrabotka nauchnyh osnov obespechenija rabotosposobnosti teplonagruzhennyh detalej avtomobil'nyh dvigatelej: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnicheskih nauk; Nizhegorodskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet. Nizhnij Novgorod, 2006.

4. Kuz'min N.A., Borisov G.V. Raschet osevyh nagruzok dlja opredelenija dopuskaemoj massy gruza v kuzove avtotransportnyh sredstv: metod. ukazanija k prakticheskim zanjatijam po kursu «Mezhdunarodnye avtomobil'nye perevozki», NGTU im. R.E. Alekseeva. N. Novgorod, 2008. 10 p.

5. Kuz'min N.A. Problema normirovanija rashodov avtomobil'nyh topliv i smazochnyh materialov v RF // Avtotransportnoe predprijatie. 2010. no. 8. pp. 20–22.

6. Novikov O.A. Verojatnostnye metody reshenija zadach avtomobil'nogo transporta / O.A. Novikov, V.N. Uvarov. M.: Transport, 1969. 136 p.

7. Peskov V.I. Sovershenstvovanie jekspluatacionnyh kachestv avtomobilja: monografija / V.I. Peskov, V.I. Serdjuk, A.E. Serdjuk; Nizhegorod. gos. tehn. un-t im. R.E. Alekseeva. N.Novgorod, 2009. 135 p.

8. Plehanov D.K., Strategii dispetcherskogo upravlenija rabotoj gruzovyh avtomobilej pri massovyh perevozkah / D.K. Plehanov, N.A. Kuz'min // Avtotransportnoe predprijatie. 2009. no. 12. pp. 40–41.

Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор ИПТМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород;

Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 622 23.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА

Волков Е.Б., Ляпцев С.А., Потапов В.Я.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

Для определения оптимальных входных параметров вибрационного грохота описана математическая модель поведения рудной частицы на его рабочей поверхности. Суть модели – в исследовании поведения одной частицы на поверхности пассивного (без колебаний) грохота, включая уравнения свободного полета рудной частицы и ее удара о наклонную плоскость. Обосновано влияние критического угла на эффективность грохочения. Приведены численные расчеты по данным формулам для величин усредненных коэффициентов восстановления и трения при ударе о стальную поверхность. Проведен и описан анализ данных расчетов. Представлена математическая модель движения частицы на вибрирующей поверхности. Таким образом, исследование движения рудной частицы сводится к численному моделированию многократного чередования ударов этапов их свободного полета с учетом переносного движения поверхности грохота.

Ключевые слова: грохот, математическая модель, рудная частица, уравнения движения, вибрационная поверхность

DETERMINATION OF THE ANGLE OF INCLINATION OF THE WORKING SURFACEVIBRATING SCREEN

Volkov E.B., Lyaptsev S.A., Potapov V.Y.

Ural state mining University, Yekaterinburg, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

To determine the optimal input parameters vibrating screen is described mathematical model of behavior of the ore particles on its surface. The essence of the model – a study of the behavior of a single particle on the surface of the passive (without hesitation) screen, including the equation of free flight of the ore particles and its impact on an inclined plane. The essence of the model – a study of the behavior of a single particle on the surface of the passive (without hesitation) screen, including the equation of free flight of the ore particles and its impact on an inclined plane. Justified by the critical angle of impact on the effectiveness of screening. Numerical calculations based on the formulas for the values averaged coefficients of friction reduction and impact on the steel surface. An analysis of the data and calculations is described. A mathematical model of the motion of a particle on a vibrating surface. Thus, the study of the movement of the ore particles is reduced to numerical modeling of repeated alternation beats stages of their free flight with the translational motion of the surface of the screen. Thus, the study of the movement of the ore particles is reduced to numerical modeling of repeated alternation beats stages of their free flight with the translational motion of the surface of the screen.

Keywords: thunder, mathematical model ore particle, equations of motion, the vibrating surface

В процессе рудоподготовки горные породы проходят несколько стадий: дробление, измельчение, грохочение.

Грохочение предназначено для разделения продуктов по классам крупности путем просеивания через одно или несколько сит, иначе – классификации материала по крупности [4].

Осуществляется данный процесс при помощи вибрационного грохота, представляющего собой колебательную систему из двух масс: с установленным на нем коробом с плоской рабочей поверхностью, имеющей отверстия, на которой осуществляется процесс рассева материала по классам крупности, и опорной рамы, связанной с ним упругими элементами [7].

Анализ работы вибрационных грохотов показал, что наклон плоскости рабочей поверхности существенно влияет на эффективность грохочения [5].

Для исследования влияния угла наклона рабочей поверхности φ целесообразным является составление математической модели поведения одной частицы на поверхности пассивного (без колебаний) грохота, включающей уравнения свободного полета рудной частицы и ее удара о наклонную плоскость.

Если частица брошена вниз на неподвижную поверхность наклонного грохота без начальной скорости с высоты h, то в момент удара о поверхность

$$V = \sqrt{2gh}, \qquad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 (сопротивлением воздуха пренебрегаем).

Частица при этом падает вертикально, и поэтому в момент соприкосновения с наклонной плоскостью вектор скорости падения V_0 составляет угол φ с нормалью к этой плоскости (рис. 1). Таким образом, при первом ударе частицы о плоскость угол падения $\alpha_0 = \varphi$. Величину скорости после удара U_i и угол отражения β_i при

произвольном ударе *«i»* определяем из системы уравнений, определяющих коэффициенты восстановления и трения [6], а также уравнений теоремы об изменении количества движения [1]:

$$\begin{cases} mU_i \cos\beta_i + mV_i \cos\alpha_i = S_N, \\ mU_i \sin\beta_i - mV_i \sin\alpha_i = -S_{\text{ТР}}, \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса частицы.

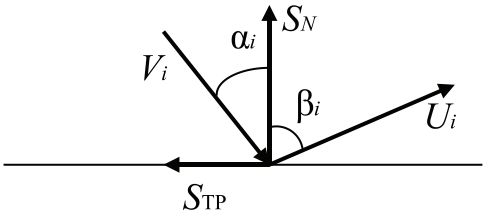


Рис. 1. Кинематические и силовые параметры при ударе

При этом коэффициент восстановления

$$k = \frac{U_i \cos\beta_i}{V_i \cos\alpha_i}. \quad (3)$$

Коэффициент трения при ударе

$$f = \frac{S_{\text{ТР}}}{S_N}, \quad (4)$$

где S_N, $S_{\text{ТР}}$ – импульс нормальной реакции и сила трения.

Решая систему уравнений (2)–(4), получаем

$$\beta_i = \text{arctg}\left[\frac{1}{k}(\text{tg}\alpha - f) - f\right]; \quad (5)$$

$$U_i = \frac{V_i}{\sin\beta_i}\left[\sin\alpha_i - f(1+k)\cos\alpha_i\right]. \quad (6)$$

После отражения частицы от поверхности грохота происходит ее свободный полет. Если пренебречь силами сопротивления движению, уравнения свободного полета в системе координат, связанной с наклонной поверхностью грохота, можно получить из соотношений кинематики равнопеременного движения [1]. Поскольку $a_x = g\sin\varphi$, $a_y = -g\cos\varphi$, то эти уравнения имеют вид

$$\begin{cases} x = x_i + U_i \sin\beta_i t + \frac{1}{2} g \sin\varphi t^2, \\ y = U_i \cos\beta_i t - \frac{1}{2} g \cos\varphi t^2, \end{cases} \quad (7)$$

где t – текущее время:

$$t = \frac{2U_i \cos\beta_i}{g\cos\varphi}. \quad (8)$$

Дальность полета l_i вдоль поверхности грохота до следующего удара находим, исключив из системы уравнений (7) параметр t, при условии, что $y = 0$.

$$l_i = \frac{2U_i^2 \cos\beta_i}{g\cos\alpha}\left(\sin\beta_i + t\,g\,\varphi\cos\beta_i\right). \quad (9)$$

Проекции скорости частицы в момент следующего удара определяем дифференцированием уравнений (7):

$$\begin{cases} V_x = U_i \sin\beta_i + g\sin\varphi\, t, \\ V_y = U_i \cos\beta_i - g\cos\varphi\, t \end{cases} \quad (10)$$

для t, определяемого уравнением (8). Угол падения при этом составит

$$\alpha_{i+1} = \text{arctg}\frac{V_x}{V_y}, \quad (11)$$

а величина скорости падения

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (12)$$

После отражения частицы от поверхности грохота происходит ее свободный полет, затем снова удар и т.д. Если при этом в один из ударов угол падения меньше некоторого критического α_n, произойдет проваливание частицы сквозь решетку грохота (рис. 2).

Критический угол можно определить по формуле

$$\alpha_n = \arccos\left(\frac{D+d}{\Delta L + d}\right), \quad (13)$$

где D – диаметр частицы; d – диаметр прута решетки; ΔL – ширина щели решетки грохота.

Весь процесс многократного чередования свободного полета с ударами до прохождения частицы сквозь решетку возможно смоделировать на компьютере. При этом, варьируя начальные условия и другие переменные, возможно подобрать наиболее рациональные параметры установки.

Численные расчеты по приведенным формулам проведены для величин коэффициентов восстановления и трения при ударе горных пород. приведенных в работе [3].

Результаты расчетов для усредненных значений $k = 0{,}47$, $f = 0{,}09$ (удар о стальную поверхность) приведены в таблице ниже.

Анализируя приведенные результаты, можно заметить, что значение углов падения при очередных ударах не зависит от высоты h, с которой происходит загрузка материала. При этом если не произошло просеивания частицы под решетку грохота, то вероятность просеивания с увеличением количества ударов уменьшается. Это сле-

дует из того факта, что угол падения частицы на поверхности грохота от удара к удару увеличивается. Увеличивается также и угол отражения частиц, что свидетельствует о постепенном переходе режима с многократными ударами в режим скольжения по поверхности грохота. При малых углах наклона плоскости φ величина скоростей падения и отражения убывает от удара к удару, а при больших – возрастает. При этом дальность полета частицы вдоль плоскости убывает независимо от угла ее наклона. Один из вариантов расчета является особым случаем движения частицы – вариант, соответствующий углу наклона плоскости $\varphi = 5°$. Последовательный ряд значений углов падения в таблице не приведен полностью, однако расчеты показывают, что $\alpha_o = 5°$, $\alpha_1 = 4{,}6°$, $\alpha_2 = 3{,}9°$, $\alpha_3 = 2{,}3°$, т.е. эти значения убывают. Таким образом, если размер частицы меньше размера ячейки решетки грохота и при первых ударах частица не прошла сквозь решетку грохота, то при следующих ударах это все равно произойдет [2]. Для величины коэффициента трения при ударе $f = 0{,}09$, при котором производился данный расчет, это значение угла соответствует значению угла трения (tg 5° = 0,87).

Движения частицы относительно неподвижной поверхности грохота отличаются от движения частицы при его вибрации. Поэтому уравнения (2)–(6), описывающие процесс удара, следует привести к виду, соответствующему относительному движению частицы. Для моделирования движения частицы относительно вибрирующего грохота на этапе свободного полета необходимо учесть переносные силы инерции, содержащие ускорения поверхности грохота.

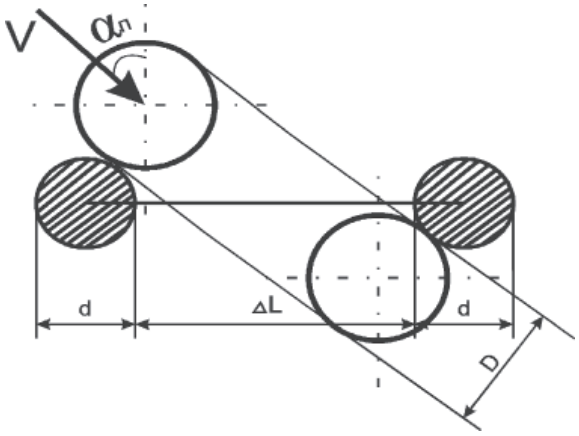


Рис. 2. Схема прохождения частицы сквозь решетку грохота

Результаты расчетов кинематических параметров рудных частиц при ударе о рабочую поверхность грохота

φ, град.	Номер удара	α, град.	*V*, м/с	β, град.	*U*, м/с	*l*, м
h = 0,25 м						
5	0	5	2,21	–5,1	1,1	$-4 \cdot 10^{-4}$
	1	4,6	1,1	–6,4	1,0	$-5 \cdot 10^{-5}$
15	0	15	2,21	16	1,04	0,12
	1	39,6	1,29	56	0,83	0,08
	2	63,6	1,05	76	0,91	0,04
	3	77,6	1,02	84	0,97	0,02
30	0	30	2,21	44	1,23	0,28
	1	64,9	2,08	76	1,81	0,21
	2	78,9	2,30	85	2,21	0,10
	3	85,5	2,43	88	2,40	0,05
h = 0,5 м						
15	0	15	3,13	16	1,48	0,24
	1	39,6	1,83	56	1,18	0,16
	2	63,6	1,49	76	1,29	0,08
	3	77,6	1,45	84	1,38	0,04

Опишем движение вибрирующей поверхности грохота двумя координатами (X, Y), считая это движение поступательным (рис. 3). Тогда проекции скорости $V_{\text{пер}} = (\dot{X}, \dot{Y})$, а ускорение $a_{\text{пер}} = (\ddot{X}, \ddot{Y})$. Поэтому проекция на нормаль относительной скорости частицы перед ударом выглядит следующим образом: $\dot{Y} + V\cos\alpha$, а после $\dot{Y} - U\cos\beta$.

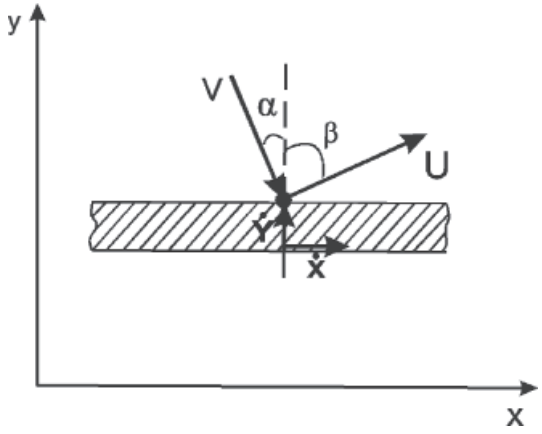


Рис. 3. Схема удара частицы о вибрирующую поверхность

Соответственно коэффициент восстановления после удара определится через составляющие относительной скорости:

$$k = \frac{U\cos\beta - \dot{Y}}{V\cos\alpha + \dot{Y}}. \qquad (14)$$

Направление силы трения зависит от направления относительной скорости частицы. Поэтому если $V^x_{\text{отн}} > 0$, то сила трения направлена против оси X, а уравнения (4) остаются с теми же знаками. Если $V^x_{\text{отн}} = 0$, то трения нет вообще. Если $V^x_{\text{отн}} < 0$, то трение – в направлении оси X, т.е. в уравнении (4), куда оно входит, поменяется знак.

Обозначая угол наклона поверхности через φ, запишем дифференциальные уравнения относительного движения частицы в проекциях на оси X и Y:

$$\begin{cases} ma^x_{\text{отн}} = mg\sin\varphi - ma^x_{\text{пер}}, \\ ma^y_{\text{отн}} - mg\cos\varphi - ma^y_{\text{пер}}, \end{cases} \qquad (15)$$

отсюда получим

$$\begin{cases} \ddot{x} = g\sin\varphi - \ddot{X}, \\ \ddot{y} = -g\cos\varphi - \ddot{Y}. \end{cases} \qquad (16)$$

Таким образом, исследование движения рудной частицы сводится к численному моделированию многократного чередования ударов этапов их свободного полета с учетом переносного движения поверхности грохота.

Список литературы

1. Вебер Г.Э., Ляпцев С.А. Дополнительные главы механики для горных инженеров. – Свердловск: УрГУ, 1989. – 292 с.

2. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В.Я. Потапов, Е.Ф. Цыпин, С.А. Ляпцев, А.И. Афанасьев // Известия вузов. Горный журнал. – 1998. – № 5–6. – С. 103.

3. Ляпцев С.А., Волков Е.Б. Анализ эффективности процесса разделения горных пород на пассивном грохоте // Математическое моделирование механических явлений: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – С. 22–25.

4. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1982. – 365 с.

5. Харламов В.С., Николаенко В.П. Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1965. – 239 с.

6. Юдин А.В., Мальцев В.А., Косолапов А.Н. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем. – Екатеринбург: УГГГА, 2009. – 402 с.

7. Ударно-фрикционная классификация горных пород на разделительной плоскости / В.Я. Потапов, Л.А. Семериков, Е.А. Васильев, В.В. Потапов // Известия Уральского государственного горного университета. – 2014. – № 3 (35). – С. 65–67.

References

1. Veber G.Je., Ljapcev S.A. Dopolnitel'nye glavy mehaniki dlja gornyh inzhenerov. Sverdlovsk: UrGU, 1989. 292p.

2. Metodika opredeleniya uprugih i friktsionnyih harakteristik syipuchih materialov / V.Ya. Potapov, E.F. Tsyipin, S.A. Lyaptsev, A.I. Afanasev // Izvestiya vuzov. Gornyiy zhurnal. 1998. no. 5–6. pp. 103.

3. Lyaptsev S.A., Volkov E.B. Analiz effektivnosti protsessa razdeleniya gornyih porod na passivnom grohote // Materialyi Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Matematicheskoe modelirovanie mehanicheskih yavleniy». Ekaterinburg: UGGU, 2013. pp. 22–25.

4. Spravochnik po obogascheniyu rud. Podgotovitelnyie protsessyi / pod red. O.S. Bogdanova. M.: Nedra, 1982. 365 p.

5. Harlamov V.S., Nikolaenko V. P. Obogaschenie rud chernyih metallov. M.: Nedra, 1965. 239 p.

6. Yudin A.V., Maltsev V.A., Kosolapov A.N. Tyazhelyie vibratsionnyie pitateli i pitateli-grohotyi dlya gornyih peregruzochnyih system. Ekaterinburg: UGGGA, 2009. 402 p.

7. Udarno-friktsionnaya klassifikatsiya gornyih porod na razdelitelnoy ploskosti / V.Y. Potapov, L.A. Semerikov, E.A. Vasilev, V.V. Potapov // Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2014. no. 3 (35). pp. 65–67.

Рецензенты:

Кожушко Г.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург;

Неволин Д.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой проектирования и эксплуатации автомобилей, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 53.082.74; 550.380.89

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ СИСТЕМОЙ «КОЛЬЦА ГЕЛЬМГОЛЬЦА – СОЛЕНОИД»

[1]Гормаков А.Н., [2]Ульянов И.А.

[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: gormakov@tpu.ru;

[2]ООО «ТомскГАЗПРОМгеофизика», Томск, e-mail: lotus@sibmail.com

В комплексе для проверки магнитометров инклинометра для создания однородного направленного магнитного поля применяются кольца Гельмгольца и соленоид. Система «кольца Гельмгольца – соленоид» позволяет значительно уменьшить габаритные размеры установки и сократить количество позиционирований инклинометра в установке для выполнения проверки работоспособности магнитометров, что позволяет применять такой комплекс в полевых условиях. В статье приводится расчет параметров, а также моделирование и визуализация магнитного поля, создаваемого системой «кольца Гельмгольца – соленоид», в среде Comsol. Расхождение результатов моделирования в среде Comsol с расчетными значениями для областей пространства, где магнитное поле однородно, не превышает для соленоида 3 %, а для колец Гельмгольца 12 %. Расчеты и моделирование магнитных полей для системы «кольца Гельмгольца – соленоид» при заданных геометрических размерах и электрических параметрах питания системы показывают, что при позиционировании магнитометров проверяемого инклинометра в центре системы осуществлять проверку магнитометров инклинометра в полевых условиях возможно.

Ключевые слова: магнитное поле, соленоид, кольца Гельмгольца, магнитометр, инклинометр, проверка

CALCULATION AND MODELING OF MAGNETIC FIELDS GENERATED BY THE SYSTEM «HELMHOLTZ RINGS-SOLENOID»

[1]Gormakov A.N., [2]Ulyanov I.A.

[1]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: gormakov@tpu.ru;

[2]OOO «TomskGAZPROMgeofizika», Tomsk, e-mail: lotus@sibmail.com

Helmholtz rings and solenoid are applied in the complex to check magnetometers of inclinometer to create a uniform directional magnetic field. System «Helmholtz rings – solenoid» allows considerably reducing the dimensions of the complex and numbers of the positioning of the inclinometer in the complex for checking the working capacity of magnetometers. It allows using it in the exploration environment. The article provides a calculation of the parameters, as well as modeling and visualization of the magnetic field, which created of the «Helmholtz rings – solenoid» in the COMSOL system. The discrepancy between the results of modeling in the COMSOL system with the calculated values for the regions of space, where the magnetic field is uniform, no more than 3 % for the solenoid, and 12 % for the Helmholtz rings. The calculations and modeling of the magnetic fields for the system «Helmholtz rings – solenoid» with given geometric dimensions and electrical parameters of power system, show that positioning of the checked magnetometers of inclinometer in the center of the system for verification in the exploration environment is possible.

Keywords: magnetic field, solenoid, Helmholtz rings, magnetometer, inclinometer, verification

Расчеты и моделирование магнитных полей для системы «кольца Гельмгольца – соленоид» проводились при проектировании и создании комплекса для проверки магнитометров инклинометра. Данный комплекс [1, 4] позволяет осуществлять проверку магнитометров инклинометра непосредственно на буровых площадках нефтегазовых месторождений.

Целью работы является подтверждение возможности создания однородного магнитного поля заданной величины в ограниченном геометрическими размерами установки объеме.

Общий вид комплекса представлен на рис. 1.

Комплекс состоит из установки 1 для базирования на ней проверяемого инклинометра 5, блока связи 2 с компьютером 3, соединительных кабелей и источника питания установки 4. Для работы с комплексом подходит любой персональный компьютер. Система «кольца Гельмгольца – соленоид» служит для создания постоянного направленного магнитного поля известной величины, с помощью которого осуществляется проверка магнитометров инклинометра.

Расчет колец Гельмгольца

Кольцами Гельмгольца называется система из двух одинаковых тонких катушек, расположенных соосно на расстоянии,

равном их радиусу. В пространстве между катушками получается поле высокой однородности [2].

Суммарный модуль магнитного поля может быть получен из закона Био-Савара – Лапласа:

$$B=\frac{\mu_0\cdot 2\cdot\pi\cdot I\cdot R^2}{4\pi\cdot(R^2+x^2)^{3/2}}; \qquad (1)$$

где $\mu_0 = 1{,}257\cdot 10^{-6}$ Гн/м; I – ток, протекающий по виткам катушек колец, в амперах; R – радиус катушки, в метрах; x – расстояние по оси катушек, в метрах.

Катушки состоят из N витков. Общий ток $N{\cdot}I$.

Для системы двух колец Гельмгольца выражение магнитной индукции в геометрическом центре примет вид:

$$B=\left(\frac{4}{5}\right)^{3/2}\cdot\frac{\mu_0\cdot N\cdot I}{R}. \qquad (2)$$

Магнитное поле, создаваемое кольцами Гельмгольца, в каждой точке продольной оси X вычисляется по формуле:

$$B_x=\frac{1}{2}\mu_0\cdot N\cdot I\cdot R^2\times$$
$$\times\left(\left(R^2+\left(x+\frac{R}{2}\right)^2\right)^{-\frac{3}{2}}+\left(R^2+\left(x-\frac{R}{2}\right)^2\right)^{-\frac{3}{2}}\right). \qquad (3)$$

Магнитометры инклинометра помещены в цилиндрический корпус диаметром 30 мм на расстоянии 10 мм друг от друга и расположены ортогонально. Длина самого магнитометра 28 мм. Исходя из этого, необходимо создать кольца Гельмгольца и соленоид таких размеров, магнитное поле которых будет равномерным в объеме, вдвое превышающем объем, занимаемый чувствительными элементами.

Исходя из технических требований к изделию, кольца Гельмгольца и соленоид должны питаться от одного источника, максимальный ток которого не должен превышать 0,3 А. Максимальный диаметр колец 300 мм. Диаметр используемого намоточного провода равен 0,45 мм. Считать рабочей зону, в которой погрешность максимального однородного магнитного поля не превышает 1 %. Такая погрешность допустима для осуществления проверки работоспособности магнитометров инклинометра.

Имея исходные данные, по формуле (2) можно вычислить число витков намоточного провода на каждом кольце:

$$N=\frac{B\cdot R}{\mu_0\cdot I\cdot\left(\frac{4}{5}\right)^{3/2}}=$$
$$=\frac{0{,}000060\cdot 0{,}15}{1{,}2566\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}3\cdot\left(\frac{4}{5}\right)^{3/2}}=34 \text{ витка}. \qquad (4)$$

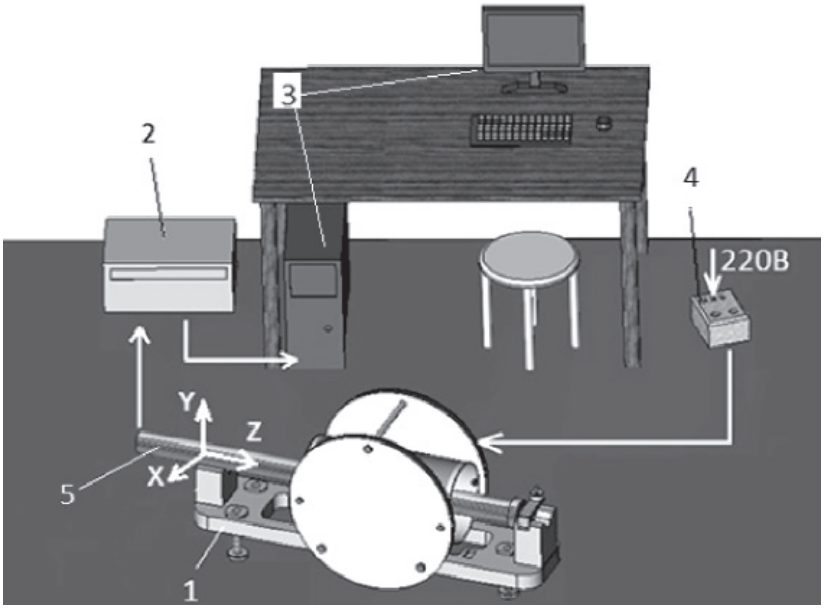


Рис. 1. Общий вид установки

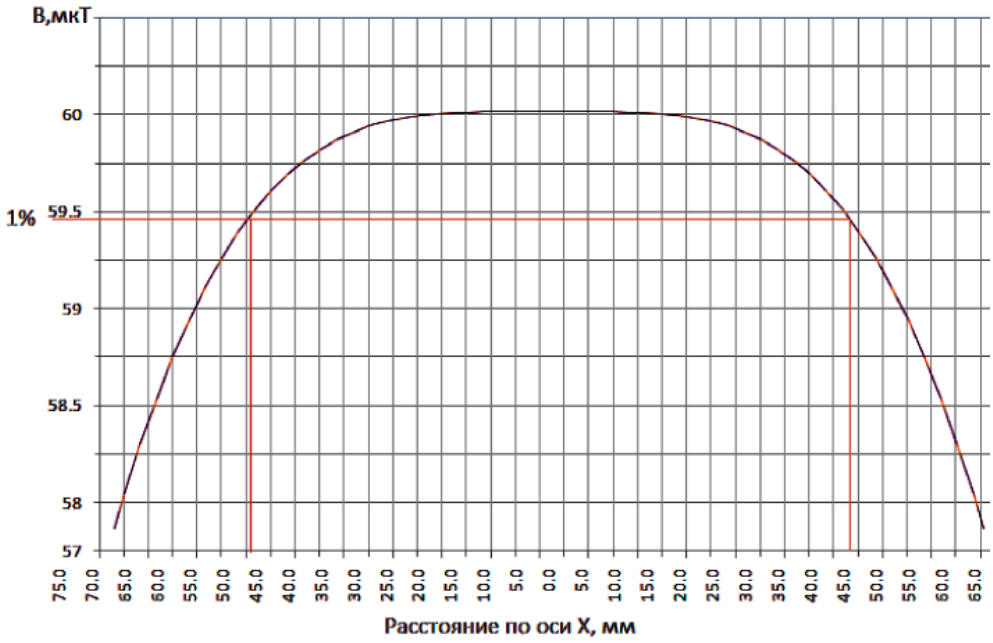


Рис. 2. Распространение магнитного поля в центре колец Гельмгольца вдоль оси X

Сопротивление системы из 2-х колец:

$$r = 2 \cdot \rho \frac{l_{ср} \cdot N}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot 0{,}0178 \cdot 34}{0{,}16} = 6{,}82 \text{ Ом}, \quad (5)$$

где $\rho = 0{,}0178$ Ом·мм²/м – удельное сопротивление меди; $l_{ср} = \pi \cdot D \cdot n$ – длина провода в одном кольце. Действующее напряжение на концах намоточного провода колец определяется:

$$U = I \cdot r = 0{,}3 \cdot 6{,}82 = 2{,}46 \text{ В}. \quad (6)$$

Расчетные значения индукции магнитного поля, созданного кольцами Гельмгольца вдоль оси X, представлены на рис. 2. Зона максимального однородного магнитного поля с погрешностью в 1 % по оси X составляет 90 мм.

Расчет соленоида

Диаметр соленоида должен быть максимальным и помещаться между кольцами Гельмгольца.

Исходные данные: радиус катушки $R_к = 0{,}145$ м; действующий ток $I = 0{,}3$ А; длина катушки $l_к = 0{,}3$ м; диаметр провода $d_п = 0{,}00045$ м; индукция магнитного поля соленоида $B = 0{,}000060$ Тл.

Напряженность магнитного поля:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0{,}000060}{1{,}257 \cdot 10^{-6}} = 47{,}73 \ \frac{\text{А}}{\text{М}}. \quad (7)$$

Выражение для расчета напряженности магнитного поля соленоида:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} + \frac{l - x}{\sqrt{R^2 + (l - x)^2}} \right), \quad (8)$$

где B – индукция создаваемого магнитного поля, Тл; I – сила тока, А; n – число витков на единицу длины, $n = N/l$; R – радиус соленоида, м; l – длина соленоида, м; x – координата точки на оси соленоида.

Индукция магнитного поля внутри соленоида [2], в середине продольной оси, то есть при $x = l/2$ вычисляется как:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2} \cdot \left(\frac{l}{\sqrt{R^2 + \frac{l^2}{4}}} \right). \quad (9)$$

Из формулы (9), имея известные данные магнитной индукции, силы тока и геометрических размеров соленоида, можно найти требуемое число витков намоточного провода:

$$N = \frac{2 \cdot B \cdot \sqrt{R^2 + \frac{l^2}{4}}}{\mu_0 \cdot I} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{0{,}075^2 + \frac{0{,}3^2}{4}}}{1{,}257 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}3} = 53 \text{ витка}. \quad (10)$$

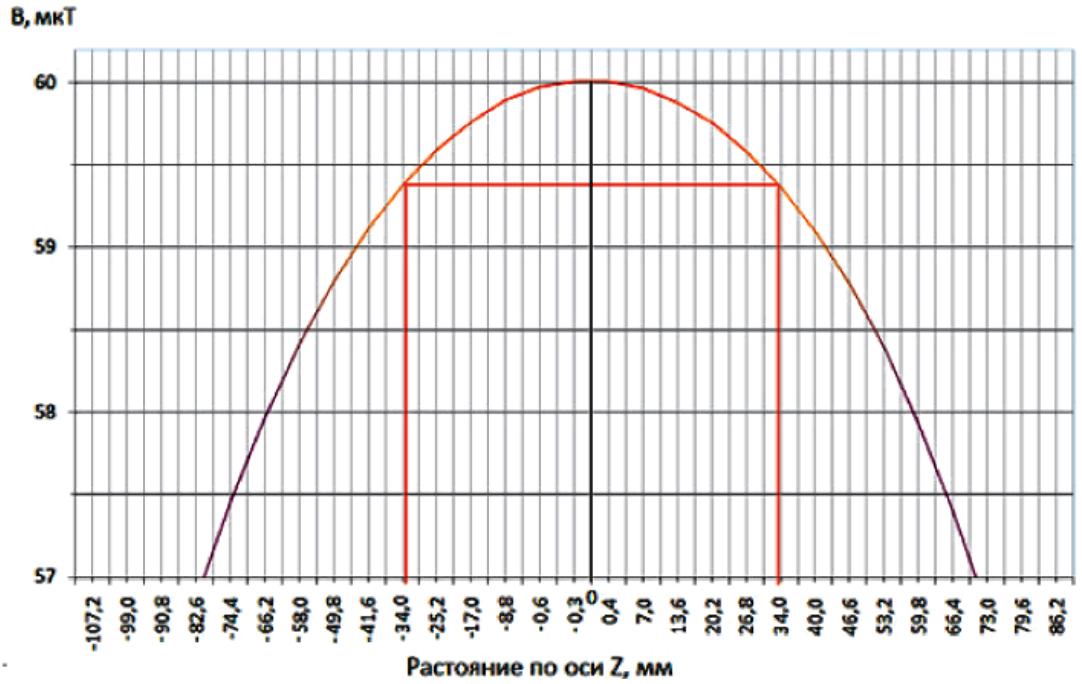


Рис. 3. Распространение магнитного поля в центре соленоида вдоль оси Z

Шаг намотки провода на соленоид:

$$t = \frac{l}{N} = \frac{0,3}{53} = 0,00566 \text{ м} = 5,7 \text{ мм}, \quad (11)$$

где t – шаг намотки провода, мм.

Сопротивление соленоида определяется, как

$$r = \rho \cdot \frac{l_{ср} \cdot N}{\pi \left(\frac{d_п}{2}\right)^2} = \frac{0,0178 \cdot 0,46 \cdot 53}{0,16} = 2,71 \text{ Ом}, \quad (12)$$

где $d_п$ – диаметр провода, м; ρ – удельное сопротивление меди 0,0178 Ом·мм²/м; Действующее напряжение определяется:

$$U = I \cdot r = 0,3 \cdot 2,4 = 0,81 \text{ В}. \quad (13)$$

Расчетные значения индукции магнитного поля, созданного соленоидом вдоль оси Z, представлены на рис. 3.

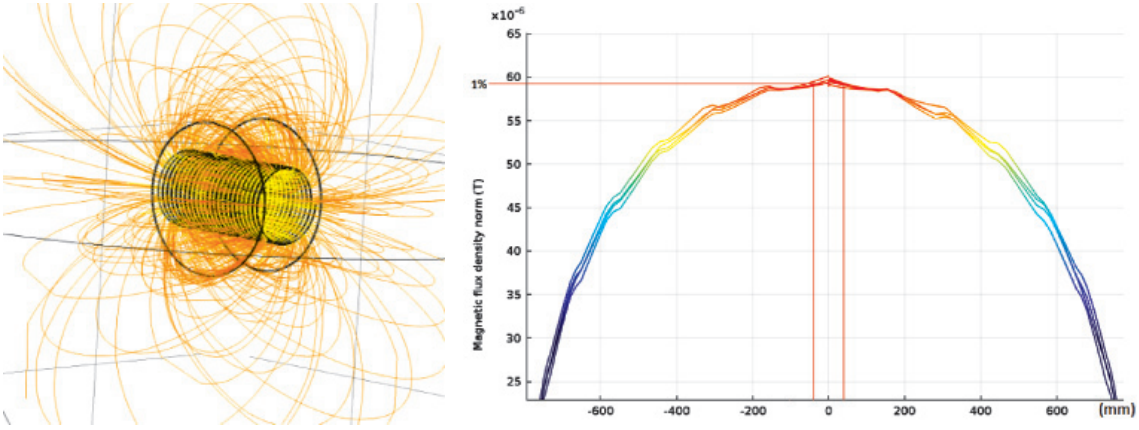
Зона максимального однородного магнитного поля с погрешностью в 1 % по оси Z составляет 34 мм от центра соленоида в разные стороны.

Компьютерное моделирование магнитных полей

Моделирование магнитных полей, создаваемых системой «кольца Гельмгольца – соленоид», производилось в среде «Comsol» [3]. Расчет магнитного поля выполнялся в модуле «Magnetic Fields (mf)» [5]. Данные геометрических размеров, величины протекающих токов и количества витков использовались те же, что и при аналитическом расчете, а также, согласно техническому заданию, на разработку комплекса для проверки магнитометров инклинометра. Для более подробной визуализации распространения магнитных силовых линий в системе «кольца Гельмгольца – соленоид» представлены в упрощенном виде. Так как кольца Гельмгольца и соленоид включаются поочередно, то сначала моделируется работа соленоида, а затем работа колец Гельмгольца. На рис. 4, а показано распространение магнитных силовых линий в соленоиде.

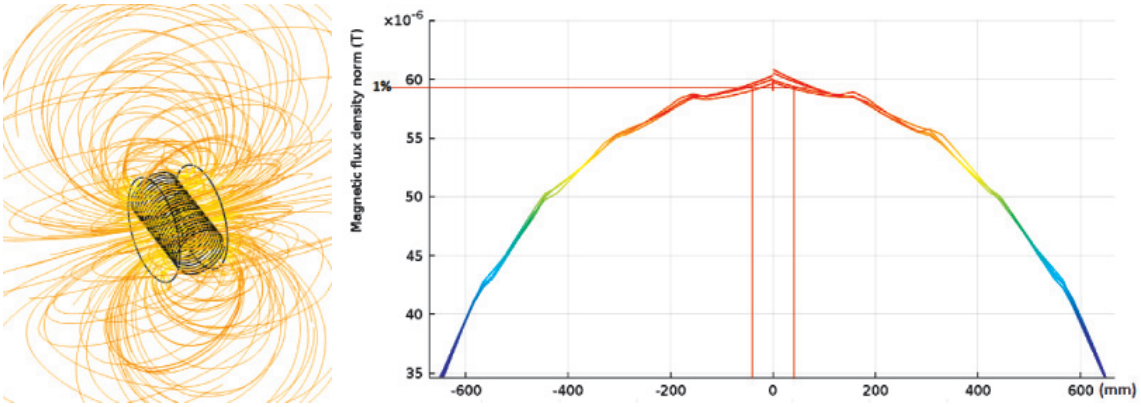
Представленная на рис. 4, б, зависимость показывает, что зона максимального однородного магнитного поля с погрешностью, не превышающей 1 %, составляет 33 мм в обе стороны от центра соленоида по оси Z.

На рис. 5, а, показано распространение магнитных силовых линий поля при работе колец Гельмгольца.



а б

Рис. 4.
а – распространение магнитных силовых линий в соленоиде;
б – величина магнитной индукции соленоида в зависимости от координаты точки, лежащей на продольной оси Z



а б

Рис. 5.
а – распространение магнитных силовых линий в кольцах Гельмгольца;
б – величина магнитной индукции колец Гельмгольца в зависимости от координаты точки, лежащей на продольной оси X

Представленная на рис. 5, б, зависимость показывает, что зона максимального однородного магнитного поля с погрешностью, не превышающей 1 %, составляет 40 мм в обе стороны от центра колец Гельмгольца по оси *X*.

Заключение

Результаты аналитического моделирования показывают расхождения с графиками зависимости величины магнитного поля от координаты точки по осям соленоида и колец Гельмгольца, полученными при моделировании в среде Comsol. Расхождение результатов моделирования в среде Comsol с расчетными значениями для областей пространства, где магнитное поле однородно, не превышает для соленоида 3 %, а для колец Гельмгольца 12 %. Это связано с тем, что при использовании катушек колец Гельмгольца с большим количеством витков вторая производная при разложении в ряд Тейлора не равна нулю для пар витков, находящихся на расстоянии, отличном от $R/2$ вдоль оси X, относительно геометрического центра системы. Вследствие чего неоднородность магнитного поля увеличивается. Расчеты и моделирование магнитных полей для системы «кольца Гельмгольца – соленоид» при заданных геометрических размерах и элек-

трических параметрах питания системы показывают, что при позиционировании магнитометров проверяемого инклинометра в центре системы осуществлять проверку магнитометров инклинометра в полевых условиях возможно.

Список литературы

1. Гормаков А.Н., Ульянов И.А., Федулов А.В. Комплекс для проверки магнитометров скважинных инклинометров в полевых условиях // НТВ «Каротажник». – Тверь: Изд. АИС, 2014. – Вып. 239. – С. 61–67.

2. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – М.: Оникс 21 век, 2005. – § 10, 35, 38, 40.

3. Огородников А.С. Моделирование в среде MATLAB – COMSOL 3.5a. Часть 1: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 104 с.

4. Ульянов И.А., Гормаков А.Н., Федулов А.В. Комплекс для проверки магнитометров инклинометра // Патент России на полезную модель № 124790, опубл. 10.12.2013, Бюл. № 4.

5. Comsol Multiphysics URL: http://www. comsol.com/ (дата обращения: 15.11.14).

References

1. Gormakov A.N., Ulyanov I.A., Fedulov A.V. Kompleks dlja proverki magnitometrov skvazhinnyh inklinometrov v polevyh uslovijah // NTV «Karotazhnik». Tver: Izd. AIS. 2014. Vyp. 239. pp. 61–67.

2. Matveev A.N. Jelektrichestvo i magnetizm. M.: Oniks 21 vek, 2005. § 10, 35, 38, 40.

3. Ogorodnikov A.S. Modelirovanie v srede MATLAB – COMSOL 3.5a. Chast' 1: uchebnoe posobie / Tomsk:Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo univ ersiteta, 2012. 104 p.

4. Ulyanov I.A., Gormakov A.N., Fedulov A.V. Kompleks dlya proverki magnitometrov inklinometra // Patent Rossii na poleznuyu model no. 124790, opubl. 10.12.2013, Byul. no. 4.

5. Comsol Multiphysics URL: http://www. somsol.com/ (data obrashhenija: 15.11.14).

Рецензенты:

Дмитриев В.С., д.т.н., профессор НИ ТПУ, г. Томск;

Бориков В.Н., д.т.н., директор института неразрушающего контроля НИ ТПУ, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 528.33:330.133(470.40)

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОПОРНОЙ МЕЖЕВОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ КУЗНЕЦКОГО РАЙОНА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ С РАСЧЕТОМ СТОИМОСТИ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Денисова Е.С., Красилич О.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, e-mail: zig@pguas.ru

В настоящее время правительство РФ особое внимание уделяет созданию единой государственной системы учёта недвижимости. На сегодняшний момент земельные участки на территории страны принадлежат многим миллионам собственников. Рынок земли и недвижимости быстро развивается: осуществлена приватизация земли, большая часть сельскохозяйственных угодий бывших колхозов и совхозов передана в частную собственность миллионов граждан, провозглашено право на создание частных сельскохозяйственных организаций, разрешены сделки с землей. В связи с этим увеличивается объем работ по межеванию земель [1]. Вместе с развитием нормативной и законодательной базы по производству межевания земель совершенствуются и методы геодезических измерений. Наряду с традиционными способами определений координат точек земной поверхности используются и спутниковые навигационные системы. В настоящее время актуальным остается вопрос учета и контроля за использованием земель. Для целей внесения сведений о земельных участках в Государственный кадастр недвижимости, для мониторинга требуется создание опорных межевых сетей.

Ключевые слова: опорная межевая сеть, мониторинг земель, сметная стоимость, государственная геодезическая сеть

THE EXPERIENCE OF CREATING A REFERENCE FRAME NETWORK ON THE TERRITORY OF THE KUZNETSK DISTRICT, PENZA REGION WITH THE CALCULATION OF THE COST OF WORK PERFORMED

Denisova E.S., Krasilich O.A.

FGBOU VPO «Penza State University of Architecture and Construction», Penza, e-mail: zig@pguas.ru

Currently, the government pays special attention to the creation of a unified state system of accounting for real estate. At the moment land plots on the territory of the country belong to many millions of owners. The land market and real estate is developing rapidly: the privatization of land, most of the agricultural lands of the former collective and state farms privatized million people, declared the right to establish private agricultural organizations, permitted land transactions. In this regard, the increasing amount of work in land surveying [1]. Together with the development of normative and legislative base for the production of surveying land and improved methods of geodetic measurements. Along with the traditional definition of coordinates of points on the earth surface are used, and satellite navigation system. Currently, there still remains the question of accounting for and control over land use. For the purpose of making information about land plots in the State real estate cadastre, monitoring requires the creation of a reference frame networks.

Keywords: reference frame network, monitoring of lands, estimated cost, the state geodetic network

В развитии экономики страны всегда особая роль уделялась эффективному использованию земельного фонда государства. В настоящее время особое внимание уделяется учёту недвижимости и мониторингу. Рынок земли быстро развивается ввиду образования новых земельных участков, что ведет к увеличению объема работ по постановке их на кадастровый учет. За последние годы произошли большие изменения в нормативной и законодательной базах по постановке земель на государственный кадастровый учет, а также усовершенствовались методы геодезических измерений.

В настоящее время актуальным остается вопрос учета и контроля за использованием земель. Для целей внесения сведений о земельных участках в Государственный кадастр недвижимости, для мониторинга требуется создание опорных межевых сетей (ОМС) [6]. Так как точность и плотность существующих геодезических сетей не соответствуют требованиям, предъявляемым при их построении. Для определения месторасположения земельных участков необходимо восстанавливать опорно-межевые сети с использованием современных технологий.

Данная статья посвящена актуальному в настоящее время вопросу мониторинга земель с использованием опорных межевых сетей. В этой связи возникает необходимость создания и восстановления опорно-межевых сетей в России и Пензенской области в частности с использованием радионавигационных систем, таких как GPS, ГЛОНАСС и др. [2].

Так, на территории Кузнецкого района на основании технического задания Департамента государственного имущества Пензенской области была реконструирована опорная межевая сеть 1 класса. Для выполнения данного вида работ была рассчитана сметная стоимость по установлению сорока пунктов ОМС. Опорная межевая сеть (ОМС) – геодезическая сеть специального назначения (ГССН), которая создается для геодезического обеспечения государственного кадастра недвижимости, мониторинга земель, землеустройства и других мероприятий по управлению земельным фондом страны [3].

Опорная межевая сеть предназначена для [3]:

► установления координатной основы на территориях кадастровых округов, районов, кварталов;

► ведения государственного реестра;

► проведения работ по государственному кадастру недвижимости, землеустройству, межеванию земельных участков, мониторингу и инвентаризации земель;

► государственного контроля за состоянием, использованием и охраной земель;

► информационного обеспечения кадастра недвижимости данными о количественных и качественных характеристиках и местоположении земель для установления их цены, платы за пользование, экономического стимулирования и рационального землепользования.

На территории района работ расположены 3 пункта Государственной геодезической сети (ГГС) 1, 2 (рис. 1).

Было определено, что закладка пунктов ОМС будет выполняться на землях населенных пунктов. Это позволит обеспечить их сохранность и легкость их нахождения. Согласно требованиям СНиП плотность пунктов ОМС на 1 кв.км должна быть не менее двух на один населенный пункт. В соответствии с площадью поселения количество пунктов может быть сокращено.

Построение опорной межевой сети выполняется в следующем порядке:

– планирование, рекогносцировка и техническое проектирование;

– закладка центров пунктов ОМС и устройство внешних знаков;

– выполнение геодезических измерений;

– полевые вычисления и контроль качества измерений;

– математическая обработка результатов измерений;

– составление каталога (списка) координат пунктов ОМС и написание технического отсчета.

При проектировании ОМС использовались следующие методы спутниковых определений: статический и быстрый статический [2].

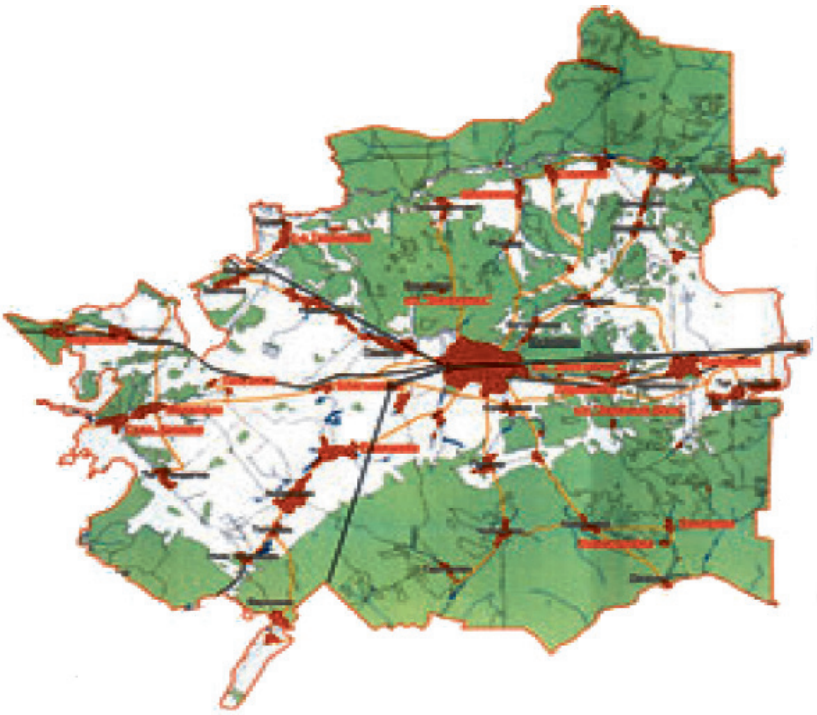


Рис. 1. Схема существующей государственной геодезической сети на территории Кузнецкого района Пензенской области

В результате выполнения съёмки составлена схема опорно-межевой сети, а также следующие материалы:

► абрисы;
► полевые журналы;
► план выполненной съёмки;
► схема привязки к геодезической основе;
► акты контроля и приёмки работ.

На местности пункты ОМС закреплены грунтовыми центрами долговременной сохранности и устойчивости: тип 158 (рис. 2).

Определено, что на территории Кузнецкого района будет заложено сорок пунктов. На рис. 3 представлена схема спутниковых геодезических измерений Кузнецкого района после выполненных работ.

В работе был произведен расчет сметной стоимости реализации проекта по созданию ОМС на территории Кузнецкого района Пензенской области. По результатам расчетов для закладки 40 пунктов потребуется 9,7 млн рублей.

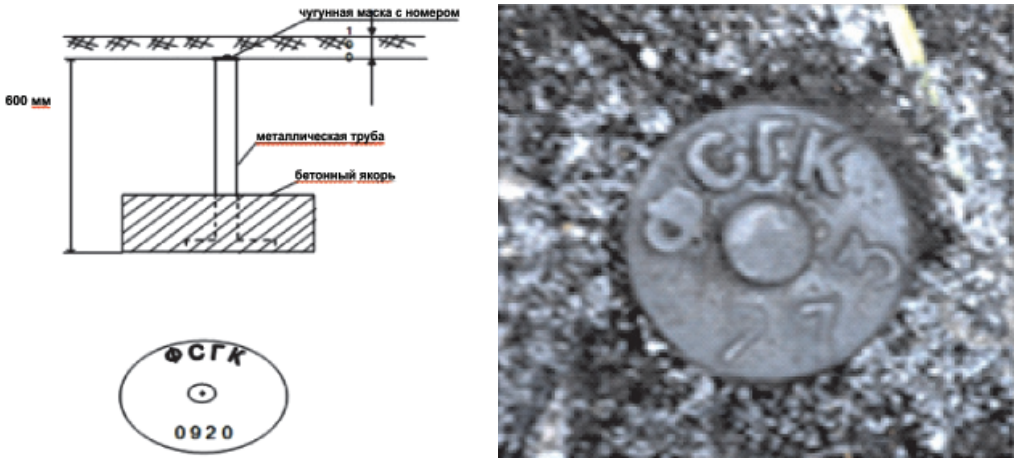


Рис. 2. Тип пункта опорно-межевой сети на территории Кузнецкого района Пензенской области

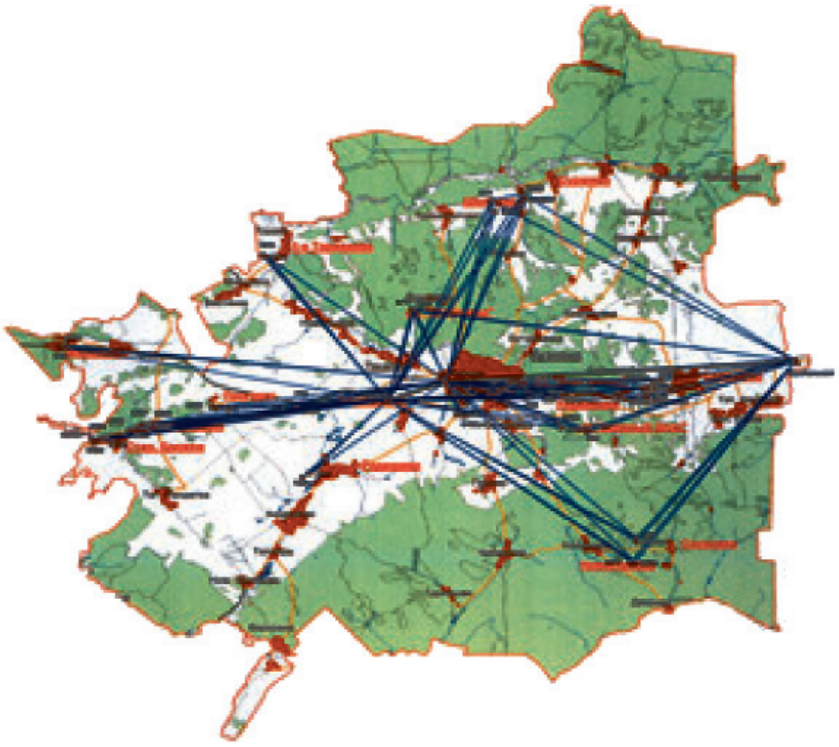


Рис. 3. Схема созданной опорной межевой сети на территории Кузнецкого района Пензенской области

Смета на производство бюджетных топографо-геодезических и картографических работ рассчитывается по действующим в отрасли сборникам сметных укрупненных расценок (СУР). Техническое обоснование таких затрат помещается в разделе технического проекта, посвященного технологии работ на объекте. Используется «Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства» 2001 г. [7] и коэффициент 3,64 по состоянию на первый квартал 2014 г. (Письмо Минрегиона РФ от 28.02.14 № 3085-ЕС/08).

СМЕТА
на выполнение проектных работ по созданию ОМС-2
на территории Кузнецкого района Пензенской области

№ п/п	Виды работ	Номера частей, глав, таблиц	Расчет	Стоимость (руб.)
1	2	3	4	5
		Раздел 1		
1.1.	Создание планово-высотной опорной геодезической сети 1 категории сложности 2 разряда Объем работ – 40 пунктов (полевые работы)	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инжен.-геодез. изыскан. 2004 г. Таблица 8, параграф 3 К = 1,3 – примечание 2 К = 1,25 – общие указания п. 8в К = 1,3 – общ. указ. П.8 г (таб. 2) $К_{диф}$ = 3,64 – Письмо Минрегиона РФ от 28.02.14 № 3085-ЕС/08	5983·40·1,3·1,25·1,3·3,64	1 840 251,14
1.2.	Создание планово-высотной опорной геодезической сети 1 категории сложности 2 разряда. Объем работ – 40 пунктов (камеральные работы)	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инжен.-геодез. изыскан. 2004 г. Таблица 8, параграф 3 К = 1,1 – общие указания п. 15 г К = 1,15 – общие указания п 158в К = 175 – общ. указ. п. 15е $К_{диф}$ = 3,64 – Письмо Минрегиона РФ от 28.02.14 № 3085-ЕС/08	2360·40·1,1·1,15·1,75·3,64	760 679,92
1.3.	Определение координат пунктов опорной геодезической сети с использованием спутниковых геодезических систем (GPS) 1 категории сложности. Объем работ – 40 пунктов (полевые работы)	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инжен-геодез. изыскан. 2004 г. Таблица 8, параграф 2 К = 1,3 – примечание 2 К = 1,25 – общие указания п. 8в К = 1,3 – общ. указ. П. 8г (табл. 2) $К_{диф}$ = 3,64 – Письмо Минрегиона РФ от 28.02.14 № 3085-ЕС/08	8407·40·1,3·1,25·1,3·3,64	2 585 825,06
1.4.	Определение координат пунктов опорной геодезической сети с использованием спутниковых геодезических систем (GPS) 1 категории сложности. Объем работ – 40 пунктов (камеральные работы)	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инжен.-геодез. изыскан. 2004 г. Таблица 8, параграф 2 К = 1,1 – общие указания п.15 г К = 1,15 – общие указания п. 15в К = 1,75 – общ. указ. п. 15е $К_{диф}$ = 5,62 – Письмо Минрегиона РФ от 28.02.14 № 3085-ЕС/08	3313·40·1,1·1,15·1,75·3,64	1 067 852,79
1.5.	Изготовление технического отчета (подготовка шаблона карты, печать форм и отчетов, формирование землеустроительного дела) трудозатраты – 30 чел./дней. Стоимость 1 чел./дня 200 руб.	Сборник цен ОНТЗ-1996 г. Приложение 12 $К_{общий}$ = 10,57798 Порядок расчета с учетом письма Минфина РФ от 27.11.2009 г. № 03-11-11/216; от 11.02.11 г. № 03-11-09/06. приказ Минэкономразвития от 01.11.11 г. № 612	200·30·10,57798	63 467,88
	Итого по смете			**6 318 076,79**
	в т.ч. – полевые работы			**4 426 076,20**
	камеральные работы			**1 892 000,59**

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
		Раздел II		
2.1.	Внутренние транспортные расходы – 21,25 % от стоимости полевых работ	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инженерно-геодезические изыскания 2004 г. Таблица 4, п. 8 К = 1,1 примечание 3	4426076,20·0,2125·1,1	1 034 595,31
2.2.	Внешний транспорт – 14,0 %	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инженерно-геодезические изыскания 2004 г. Таблица 5, п. 1	(6279996,06 + 1034595,31)·0,14	6 424 839,40
	ИТОГО ПО II РАЗДЕЛУ			**7 459 434,72**
	Дополнительные и непредвиденные расходы – 10 % от сметной стоимости	СБЦ на инженерные изыскания для строительства, инжен.-геодез. изыскания 2004 г. Общие указания п. 18	7459434,72·10%	745 943,47
	ИТОГО ПО СМЕТЕ			**8 205 378,19**
	НДС 18 %			**1 476 968,07**
	ВСЕГО ПО СМЕТЕ (с НДС 18 %)			**9 682 346,26**

Примечание. Произведен расчет смет для создания ОМС-2 с использованием спутниковых и традиционных технологий.

В таблице представлен расчет сметной стоимости создания ОМС-2 на территории Кузнецкого района Пензенской области с закладкой сорока пунктов, хотя работы выполнялись с точностью, удовлетворяющей требованиям к созданию ОМС-1. Однако, если рассчитать стоимость этих работ, но для ОМС-1, она будет в четыре раза больше. И создание данной сети будет экономически затруднительно для государственных органов. В связи с этим можно сделать вывод, что стоимость данных видов работ в России определяется не по нормативам, а на договорной основе, выгодной для всех участников данного процесса.

Созданная опорно-межевая сеть на территории Кузнецкого района Пензенской области может использоваться Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии по Пензенской области для учета земель, Министерством сельского хозяйства Пензенской области для мониторинга земель, а также межевыми организациями Пензенской области [4, 5].

По экспертным расчетам срок окупаемости проекта по созданию опорно-межевой сети на территории Кузнецкого района составит 7 лет. По аналогии можно создать опорно-межевую сеть на всей территории Пензенской области.

Список литературы

1. База знаний Allbest Available at: http:// www.knowledge.allbest.ru (дата обращения 10.01.2015 г.).

2. Войтенко А.В. Разработка методики создания планового геодезического обоснования с применением спутниковой системы GPS при межевании земель: дис. ... канд. техн. наук: Новосибирск, 2008. – 235 с.

3. Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Земельно-кадастровые геодезические работы. – М.: КолосС, 2005. – 184 с.

4. Об утверждении индексов изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ по состоянию на первый квартал 2014 г.: письмо Министерства регионального развития РФ № 3085-ЕС/08 от 28.02.14.

5. О применении в 2010 г. коэффициента-дефлятора К_1 при исчислении ЕНВД для отдельных видов деятельности: письмо Министерства финансов РФ от 27 ноября 2009 г. № 03-11-11/216.

6. Российская Федерация. Законы. Земельный кодекс Российской Федерации: федер. закон. – М.: Гросс Медиа, 2007. – 80 с.

7. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства «Инженерно-геодезические изыскания» (цены приведены к базисному уровню на 01.01.2001 г.).

References

1. Baza znanijj Allbest Available at: http:// www.knowledge.allbest.ru (data obrashhenija 10.01.2015 g.).

2. Vojjtenko A.V. Razrabotka metodiki sozdanija planovogo geodezicheskogo obosnovanija s primeneniem sputnikovojj sistemy GPS pri mezhevanii zemel': dis. kan. tekh. nauk: Novosibirsk, 2008. 235 p.

3. Neumyvakin Ju.K., Perskijj M.I. Zemel'no-kadastrovye geodezicheskie raboty. M.: KolosS, 2005. 184 p.

4. Pis'mo Ministerstva regional'nogo razvitija RF № 3085-ES/08 ot 28.02.14 «Ob utverzhdenii indeksov izmenenija smetnojj stoimosti proektnykh i izyskatel'skikh rabot po sostojaniju na pervyjj kvartal 2014 g.».

5. Pis'mo Ministerstva finansov RF ot 27 nojabrja 2009 g. № 03-11-11/216 «O primenenii v 2010 g. koehfficienta-defljatora K_1 pri ischislenii ENVD dlja otdel'nykh vidov dejatel'nosti».

6. Rossijjskaja Federacija. Zakony. Zemel'nyjj kodeks Rossijjskojj Federacii: feder. zakon. – M.: Gross Media, 2007. 80 p.

7. Spravochnik bazovykh cen na inzhenernye izyskanija dlja stroitel'stva «Inzhenerno-geodezicheskie izyskanija» (ceny privedeny k bazisnomu urovnju na 01.01.2001 g.).

Рецензенты:

Хрусталев Б.Б., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой «Экономика, организация и управление производством», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза;

Ласьков Н.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 03.02.2015.

УДК 519.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВАРИАЦИОННОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАЮЩИМ РОБОТОМ

[1]Дивеев А.И., [2]Конырбаев Н.Б.

[1]ФБГУН «Вычислительный центр им. А.А. Дородницына» Российской академии наук, Москва, e-mail: aidiveev@mail.ru;

[2]ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: n.konyrbaev@mail.ru

В статье рассматривается применение метода вариационного аналитического программирования к решению задачи синтеза системы управления летающим роботом. В задаче необходимо найти управление в виде функции от состояния объекта управления. Полученная синтезирующая функция должна обеспечить вычисление управления для движения летающего робота типа квадрокоптер по пространственной траектории, заданной в виде набора точек. В качестве оценок управления используются критерии суммарной ошибки по отклонению от заданной точки и время движения по траектории. Для решения задачи синтеза используется метод вариационного аналитического программирования, который построен на основе относительно нового метода символьной регрессии, метода аналитического программирования и принципа малых вариаций базисного решения, который используется при эволюционном поиске оптимального возможного решения.

Ключевые слова: синтез системы управления, метод аналитического программирования, летающий робот

APPLICATION OF VARIATIONAL ANALYTIC PROGRAMMING FOR SYNTHESIS OF FYING ROBOT CONTROL

[1]Diveev A.I., [2]Konyrbaev N.B.

[1]Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Moscow, e-mail: aidiveev@mail.ru;

[2]Peoples' friendship university of Russia, Moscow, e-mail: n.konyrbaev@mail.ru

In this paper an application of the method of variational analytic programming to the solution of the synthesis problem of a control system for the flying robot is considered. It is necessary to find the control in the form of function from an object state. The received synthesizing function has to provide calculation of control for the movement of the flying robot on the spatial trajectory set in the form of points. As an assessment of criterion for control a total mistake on a deviation from the set point and time of the movement on a trajectory is used. For the solution of the synthesis problem the method of variational analytic programming is used. The method includes two approaches: a new method of symbolical regression, the analytical programming and the principle of small variations of the basic solution for evolutionary search of the optimal possible solution.

Keywords: system control synthesis, analytic programming method, flying robot

Задача синтеза системы управления сегодня является актуальной в связи с развитием робототехнических устройств, которые должны выполнять различные задания автономно, без участия человека. Формально задача синтеза управления заключается в нахождении функций, которую часто называют синтезирующей, описывающей зависимость управления от состояния объекта. Найденное с помощью синтезирующей функции управление обеспечивает достижение цели управления и является оптимальным согласно заданному критерию качества. В общем виде аналитического метода решения задачи синтеза управления не существует. В работе для решения задачи синтеза управления применяется метод аналитического программирования.

Аналитическое программирование [10, 11, 12] является разновидностью метода генетического программирования [7, 8, 9]. В настоящей работе метод аналитического программирования применен для решения задачи синтеза системы управления летающим роботом. Проблема управления движением летающего робота по пространственной траектории состоит в обеспечении точного и быстрого движения по заданной точками траектории. При реализации управления возникает дополнительная задача обеспечения проверки условия переключения точек на траектории. В работах [7, 10, 11] для решения задачи синтеза системы управления летающим роботом используется метод сетевого оператора. Проблема переключения точек решается с помощью синтеза логико-функционального управления или синтеза двух контуров управления, состоящих из системы стабилизации объекта относительно точки и логической системы переключения точек. Метод синтеза обусловлен ограниченным набором функций, которые использует метод сетевого оператора, это функции с одним или двумя аргументами.

Принципиальную трудность при синтезе интеллектуальных систем управления методом сетевого оператора представляет собой функция, описывающая оператор условия, которая должна иметь три или более аргументов. Метод аналитического программирования может использовать любой набор функций, в том числе с тремя и более аргументами.

Для эффективного применения метода аналитического программирования к решению задачи синтеза управления в работе представлен метод вариационного аналитического программирования [3, 4, 5]. Данный метод позволяет сузить пространство поиска и определить область поиска за счет выбора базисного решения.

Метод вариационного аналитического программирования

Введем упорядоченные множества функций с определёнными количествами аргументов

$$\mathbf{F}_i = \left(f_{i,1}\left(z_1,\ldots,z_i\right),\ldots,f_{i,m_i}\left(z_1,\ldots,z_i\right)\right),$$

$$i=\overline{0,n}, \qquad (1)$$

где $f_{i,j}(z_1, ..., z_i)$ – функция под номером j с количеством аргументов i, $j=\overline{1,m_i}$, $i=\overline{0,n}$.

Объединим все множества в одно

$$\mathbf{F}=\bigcup_{i=0}^{n}\mathbf{F}_i. \qquad (2)$$

Пронумеруем все элементы объединённого множества

$$\mathbf{F}=\left(f_1,\ldots,f_D\right), \qquad (3)$$

где

$$D=\sum_{i=0}^{n} m_i, \qquad (4)$$

$$f_1=f_{0,1},\ f_2=f_{0,2},\ \ldots,\ f_{m_0}=f_{0,m_0},$$

$$f_{m_0+1}\left(z\right)=f_{1,1}\left(z\right),\ \ldots,\ f_{m_0+m_1}\left(z\right)=f_{1,m_1}\left(z\right),$$

$$f_{m_0+m_1+1}\left(z_1,z_2\right)=f_{2,1}\left(z_1,z_2\right),\ \ldots,$$

$$f_{m_0+\ldots+m_n}\left(z_1,\ldots,z_n\right)=f_{n,m_n}\left(z_1,\ldots,z_n\right).$$

Отдельно рассмотрим множество функций без аргументов или с нулевым количеством аргументов. Данное множество для математических выражений представляет собой множество параметров или переменных

$$\mathbf{F}_0=\left(f_{0,1},\ldots,f_{0,m_0}\right)=\left(x_1,\ldots,x_N,q_1,\ldots,q_p\right). \qquad (5)$$

Запись кода математического выражения в методе аналитического программирования осуществляется в форме упорядоченного множества целых чисел

$$\mathbf{C}=\left(c_1,\ldots,c_K\right), \qquad (6)$$

где $c_i \in \{1,\ldots,D\}$, $i=\overline{1,K}$.

Каждое число указывает на номер элемента в объединенном множестве **F** (7). Запись имеет префиксный порядок. Код функции в записи предшествует коду аргумента. Длина записи кода ограничена. Дополнительное множество переменных и параметров используется для корректного завершения записи. При необходимости код функции из объединённого множества используется в виде кода для элемента множества переменных или параметров.

Для получения математического выражения из записи кода необходимо знать количества элементов в каждом из множеств функций: m_0, ..., m_n и количества используемых переменных и параметров N и p.

Количество аргументов функции i и номер функции j определяем по значению элемента c_k кода математического выражения с помощью соотношений

$$i=\begin{cases}0, & \text{если } 0\le c_k\le m_0,\\ \alpha, & \text{если } \sum\limits_{r=0}^{\alpha-1} m_r\le c_k\le \sum\limits_{r=0}^{\alpha} m_r,\ \alpha=\overline{1,m_n},\end{cases} \qquad (7)$$

$$j=c_k-\sum_{r=0}^{i-1} m_r,\ 1<i\le n. \qquad (8)$$

При соответствии элемента кода c_k функции без аргументов, $i=0$ для определения переменной x_j или параметра q_j необходимо использовать количества используемых переменных N и параметров p.

$$j=\begin{cases}c_k, & \text{если } c_k\le N,\\ c_k-N & \text{иначе,}\end{cases}\quad i=0, \qquad (9)$$

где код c_k соответствует переменной x_j, если $c_k \le N$, или параметру q_j, если $N < c_k \le m_0$.

Для описания кодов векторных математических выражений используем один набор целых чисел с определенным количеством элементов для каждого компонента векторного выражения. Пусть вектор математических выражений имеет M компонент. Выделим под каждую компоненту вектора L позиций в коде записи. Код математического выражения каждого компонента i векторного выражения содержит $k_i \le L$ элементов, $i=\overline{1,M}$. Не используемым в формировании кода элементам задаем нулевые значения:

$$\mathbf{C}=\underbrace{\left(c_1,\ldots,c_{k_1},0,\ldots,0\right.}_{L},\ldots,\ \underbrace{\left.c_{L(M-1)+1},\ldots,c_{L(M-1)+k_M},0,\ldots,0\right)}_{L} \qquad (10)$$

где L – число позиций для кода одной компоненты векторного выражения; k_i – длина кода компоненты i векторного выражения, $i=\overline{1,M}$.

В коде записи векторного выражения (14) значения для элементов выполняются условия

$$c_j = 0,$$

$$\text{если} \quad L(i-1)+k_i < j \le Li, \quad i=\overline{1,M}. \quad (11)$$

Для расшифровки кода векторного выражения необходимо вместе с величинами m_i, $i=\overline{1,n}$, N и p дополнительно знать число позиций L и длины кодов компонент k_i, $i=\overline{1,M}$.

Для определения корректности записи кода математического выражения используем индекс элемента. Пусть в записи кода (10) математического выражения элемент $c_j \neq 0$. Для векторного математического выражения определим него номер компоненты i из соотношения

$$i=\left\lfloor \frac{j-1}{L} \right\rfloor + 1. \quad (12)$$

Для корректной записи для индекса элемента $c_j \neq 0$ необходимо выполнение условий

$$T(j) > 0, j \neq k_i; \quad (13)$$

$$T\left(k_i + L\,(i-1)\right) = 0, \quad (14)$$

где $T(j)$ – индекс элемента j записи кода математического выражения.

Для вычисления индекса $T(j)$ элемента j при условии $c_j \neq 0$ используем соотношение

$$T(j) = 1-(j-L\beta)+\sum_{k=L\beta+1}^{j} i_k, \quad (15)$$

где

$$i_k = \begin{cases} 0, \text{ если } 0 \le c_k \le m_0, \\ \alpha, \text{ если } \sum_{r=0}^{\alpha-1} m_r \le c_k \le \sum_{r=0}^{\alpha} m_r, \ \alpha=\overline{1,m_n}; \end{cases} \quad (16)$$

$$\beta = \left\lfloor \frac{j-1}{L} \right\rfloor. \quad (17)$$

Индекс $T(j)$ элемента j указывает на минимальное число недостающих справа элементов. Невыполнение условий (13) или (14) указывает на неправильность записи математического выражения.

Алгоритм для вычисления математического выражения по записи кода в аналитическом программировании должен располагать информацией о максимальном количестве аргументов в используемых функциях.

Метод вариации аналитического программирования

Пусть запись кода (10) определяет пространства записей математических выражений. Пространство всех вариантов возможных записей длины K для D значений кодов содержит D^K элементов.

Малой вариацией кода аналитического программирования является изменение значения кода элемента c_i Î {1, ..., D}. Одной малой вариации достаточно для получения любой записи пространства из одной заданной записи за конечное число вариаций.

Для описания малой вариации используем вектор из двух компонент

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 \end{bmatrix}^T, \quad (18)$$

где w_1 – номер позиции изменяемого кода элемента записи; w_2 – значение кода элемента.

Для выполнения вариации необходимо знать: количество элементов в векторном выражении M, количество переменных N, количество параметров p, количество используемых функций определенной арности $m_0 = N + p$, m_1, ..., m_n, количество выделенных для каждой компоненты позиций L и количество используемых в варьируемом коде позиций k_i, $i=\overline{1,M}$.

Номер позиции w_1 в векторе вариации (18) не должен превышать количество позиций в коде

$$1 \le w_1 \le LM. \quad (19)$$

Значение кода элемента w_2 не должно превышать количество элементов в объединенном множестве (18):

$$1 \le w_2 \le |F|, \quad (20)$$

где

$$|\mathrm{F}| = N + p + \sum_{i=1}^{n} m_i. \quad (21)$$

Синтез системы управления летающим роботом

Рассмотрим задачу синтеза управления движением летающего робота по пространственной траектории.

Модель объекта управления задана в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\ddot{x} = \frac{T}{m}\cos\gamma\,\sin\theta; \quad (22)$$

$$\ddot{y} = \frac{T}{m}\cos\gamma\,\cos\theta - g; \quad (23)$$

$$\ddot{z} = \frac{T}{m}\sin\gamma; \quad (24)$$

$$\ddot{\gamma} = \frac{M_x}{I_x}; \qquad (25)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{M_z}{I_z}, \qquad (26)$$

где $T = u_1 + u_2 + u_3 + u_4$; $M_x = u_1 + u_2 - u_3 - u_4$; $M_z = u_1 - u_2 - u_3 + u_4$; u_i – величина силы тяги i-го винта, $i = 1, 2, 3, 4$; $g = 9{,}81$ м/с^2; $I_x = 0{,}03$ кг·м^2, $I_z = 0{,}03$ кгм^2, $m = 1$ кг.

Заданы точки пространственной траектории в виде упорядоченного множества значений векторов из трех компонент:

$$P = \left(\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \end{bmatrix}^T, \ldots, \begin{bmatrix} x_M & y_M & z_M \end{bmatrix}^T \right). \qquad (27)$$

В вычислительном эксперименте рассматривалось $M = 16$ точек траектории

$$P = \Big([8,16,4]^T, [16,10,4]^T, [20,10,10]^T, [20,10,16]^T, [16,12,12]^T, [12,16,8]^T,$$
$$[8,18,4]^T, [4,20,0]^T, [8,24,-4]^T, [16,30,-8]^T, [20,30,-10]^T, [20,30,-16]^T,$$
$$[16,28,-12]^T, [12,26,-8]^T, [8,22,-4]^T, [4,20,0]^T \Big).$$

Критерием качества управления являлся функционал

$$J = \sum_{i=1}^{M} \sqrt{\left(x(t_i) - x_i\right)^2 + \left(y(t_i) - y_i\right)^2 + \left(z(t_i) - z_i\right)^2}, \qquad (28)$$

где

$$t_i = \begin{cases} t, \text{ если } \sqrt{\left(x(t) - x_i\right)^2 + \left(y(t) - y_i\right)^2 + \left(z(t) - z_i\right)^2} < \delta, \\ t_{i-1} + \Delta t \text{ – иначе;} \end{cases} \qquad (29)$$

$$\Delta t = 8 \text{ с}; \ \delta = 0{,}25 \text{ м}; \ t_0 = 0.$$

Для системы были заданы следующие начальные значения:

$$x(0) = \pm 1 \text{ м}; \quad \dot{x}(0) = 0 \text{ м/с}; \quad y(0) = 20 \pm 1 \text{ м};$$

$$\dot{y}(0) = 0 \text{ м/с}; z(0) = 0 \text{ м}; \dot{z}(0) = 0 \text{ м/с};$$

$$y(0) = 0 \text{ рад.}, \dot{\gamma}(0) = 0 \text{ рад./с}; \quad \theta(0) = 0 \text{ рад.}; \dot{\theta}(0) = 0 \text{ рад./с}.$$

На управление были наложены ограничения

$$T^- \le T \le T^+; \quad M_x^- \le M_x \le M_x^+; M_z^- \le M_z \le M_z^+, \qquad (30)$$

где $T^- = 6$ Н; $T^+ = 16$ Н; $M_x^- = -0{,}1$ Нм; $M_x^+ = 0{,}1$ Нм; $M_z^- = -0{,}1$ Нм; $M_z^+ = 0{,}1$ Нм.

В результате было получено следующее оптимальное управление:

$$T = \Delta_y \operatorname{sgn}\left(\Delta_y + \operatorname{sgn}\Delta_y \left(\Delta_y\right)^2\right) \cos^2\left(\Delta_y + \operatorname{sgn}\Delta_y \left(\Delta_y\right)^2\right);$$

$$M_z = \Delta_x \min\left\{\left|\ln\left|F_{3,2}\left(\Delta_y q_{11}^2, q_{11}, \Delta_y\right)\right|\right|, \left|\Delta_z\right|\right\}; \quad M_x = \Delta_z,$$

где

$$\Delta_y = -q_{10}\dot{y} - q_9\left(y - y_i\right) + g + \operatorname{arctg}\left(\dot{y}\right) + \sin\left(\dot{y}\right) + \left(q_6\theta\right)^2 - \operatorname{sgn}\left(y - y_i\right)\sqrt{q_9\left|y - y_i\right|};$$

$$\Delta_x = -q_5\dot{\theta} - q_6\theta + q_7\dot{x} + q_8\left(x - x_i\right); \quad \Delta_z = -q_1\dot{\gamma} - q_2\gamma - q_3\dot{z} - q_4\left(z - z_i\right);$$

$$F_{3,2}\left(a,b,c\right) = \begin{cases} b, \text{ если } b > a, \\ c, \text{ если } b \le a \text{ и } c < a, \\ a, \text{ если } b \le a \text{ и } c \ge a; \end{cases}$$

$$q_1 = 1{,}075; \quad q_2 = 3; \quad q_3 = 0{,}527; \quad q_4 = 0{,}324; \quad q_5 = 1{,}075; \quad q_6 = 3; \quad q_7 = 0{,}527;$$

$$q_8 = 0{,}324; \quad q_9 = 15{,}51; \quad q_{10} = 15{,}19; \quad q_{11} = 1{,}89.$$

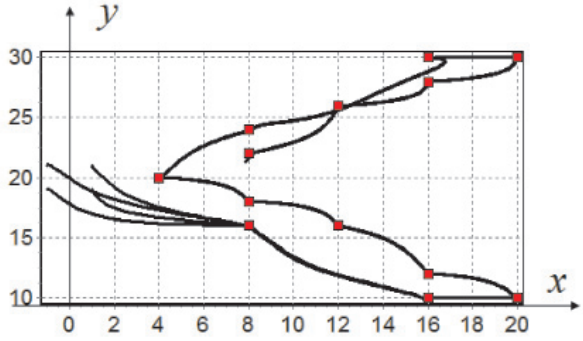


Рис. 1. Движение летающего робота в вертикальной плоскости {x, y}

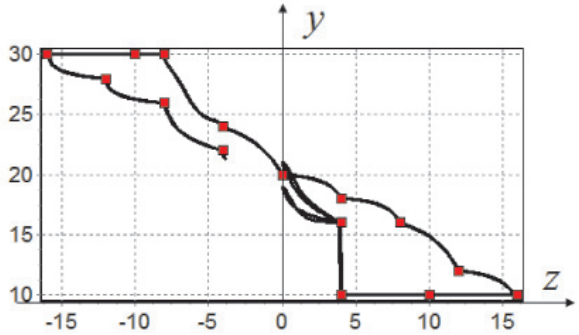


Рис. 2. Движение летающего робота в вертикальной плоскости {y, z}

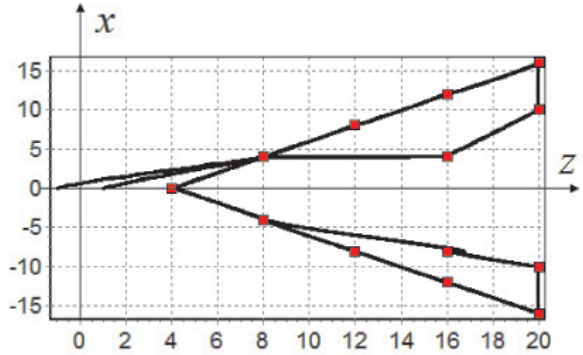


Рис. 3. Движение летающего робота в вертикальной плоскости {x, z}

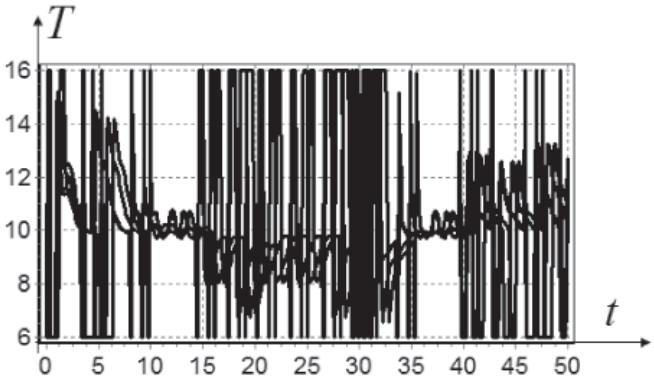


Рис. 4. Управление T для четырех начальных условий

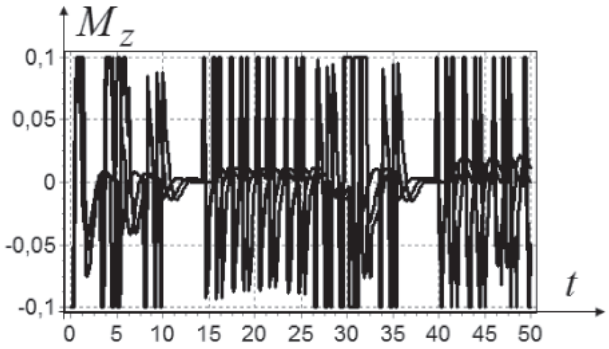


Рис. 5. Управление M_z для четырех начальных условий

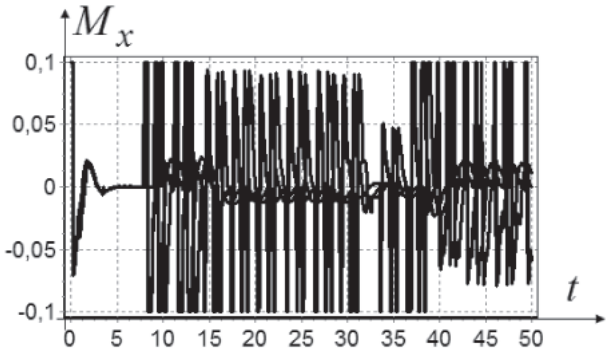


Рис. 6. Управление M_x для четырех начальных условий

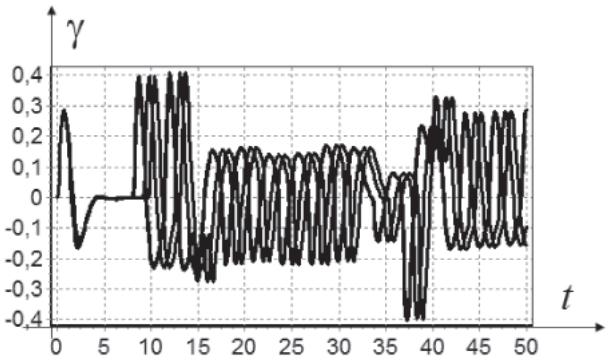


Рис. 7. Угол γ для четырех начальных условий

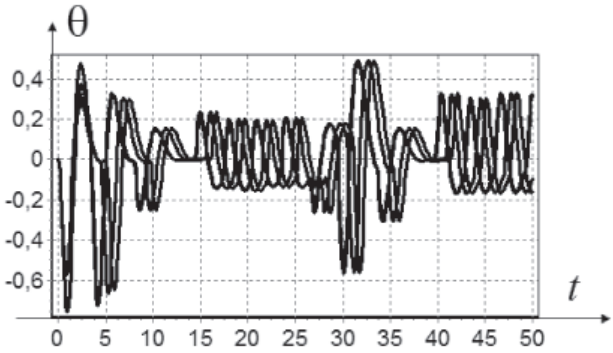


Рис. 8. Угол θ для четырех начальных условий

Траектории движения летающего робота из четырех начальных условий:

1) $x(0) = +1$ м, $y(0) = 21$ м;

2) $x(0) = -1$ м, $y(0) = 21$ м;

3) $x(0) = +1$ м, $y(0) = 19$ м;

4) $x(0) = -1$ м, $y(0) = 19$ м; приведены на рис. 1–8.

Заключение

Результаты моделирования показали, что полученная система управления обеспечивает прохождение объекта точно по пространственной траектории. Начальные условия существенно не влияют на точность движения по траектории.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-08-00008-а.

Список литературы

1. Атиенсия Вильягомес Х.М., Дивеев А.И. Метод сетевого оператора для синтеза интеллектуальной системы управления динамическим объектом // Электронный журнал «Cloud of Science». – 2014. – Т. 1. – № 2. 1. – С. 191–198.

2. Атиенсия Вильягомес Х.М., Дивеев А.И.Численный метод синтеза логико-функционального управления динамическим объектом // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3 URL: www.science-education.ru/103-6530.

3. Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. Вычислительный метод вариационного аналитического программирования для синтеза системы управления // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12401.

4. Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. Метод вариационного аналитического программирования для синтеза систем управления // Труды одиннадцатого международного симпозиума Интеллектуальные системы INTELS'2014 под ред. К.А. Пупкова. – Москва. – 30 июня-04 июля. – 2014. – С. 78–80.

5. Дивеев А.И., Конырбаев Н.Б. Метод вариационного аналитического программирования для решения проблемы синтеза системы управления // Труды Международного симпозиума Надежность и качество; под ред. Н.К. Юркова. – Пенза – 26 мая – 01 июня. – 2014. – Т. 1. С. 188–193.

6. Atiencia Vilagomes J.M., Diveev A.I., Sofronova E.A. The Network Operator Method for Synthesis of Intelligent Control System // Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) 18-20 July 2012, Singapore. P. 169–174.

7. Bourmistrova A., Khantsis S. Control System Design Optimisation via Genetic Programming in Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, 2007, P. 1993–2000.

8. Koza J.R., Keane M.A., Rice J.P. Performance improvement of machine learning via automatic discovery of facilitating functions as applied to a problem of symbolic system identification // IEEE International Conference on Neural Networks I. 1993. San Francisco, USA. 1993. P. 191–198.

9. Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992. 819 p.

10. Zelinka I. Analytic programming by Means of Soma Algorithm // Mendel '02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, P. 93–101.

11. Zelinka I., Oplatkova Z. Analytic programming // Comparative Study. CIRAS'03, The second International Conference on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems, Singapore, 2003.

12. Zelinka I., Nolle L., Oplatkova Z. Analytic Programming – Symbiloc Regression by Means of Arbitrfary Evolutionary Algorithms // Journal of Simulation. 2012. Vol. 6, № 9. P. 44–56.

References

1. Atiensija Viljagomes Kh.M., Diveev A.I. Metod setevogo operatora dlja sinteza intellektual'nojj sistemy upravlenija dinamicheskim obektom // Ehlektronnyjj zhurnal «Cloud of Science» 2014. Tom 1. no. 2. 1. pp. 191–198.

2. Atiensija Vil'jagomes Kh.M., Diveev A.I. Chislennyjj metod sinteza logiko-funkcional'nogo upravlenija dinamicheskim obektom // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. no. 3 URL: www.science-education.ru/103-6530.

3. Diveev A.I., Konyrbaev N.B. Vychislitel'nyjj metod variacionnogo analiticheskogo programmirovanija dlja sinteza sistemy upravlenija // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12401

4. Diveev A.I., Konyrbaev N.B. Metod variacionnogo analiticheskogo programmirovanija dlja sinteza sistem upravlenija // Trudy odinnadcatogo mezhdunarodnogo simpoziuma Intellektual'nye sistemy INTELS'2014 pod red. K.A. Pupkova. Moskva. 30 ijunja-04 ijulja. 2014. pp. 78–80.

5. Diveev A.I., Konyrbaev N.B. Metod variacionnogo analiticheskogo programmirovanija dlja reshenija problemy sinteza sistemy upravlenija // Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo; pod red. N.K. Jurkova. Penza 26 maja 01 ijunja. 2014. T. 1. p p . 188–193.

6. Atiencia Vilagomes J.M., Diveev A.I., Sofronova E.A.The Network Operator Method for Synthesis of Intelligent Control System // Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) 18–20 July 2012, Singapore. pp. 169–174.

7. Bourmistrova A., Khantsis S. Control System Design Optimisation via Genetic Programming in Proc. of IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore, 2007, pp. 1993–2000.

8. Koza J.R., Keane M.A., Rice J.P. Performance improvement of machine learning via automatic discovery of facilitating functions as applied to a problem of symbolic system identification // IEEE International Conference on Neural Networks I. 1993. San Francisco, USA. 1993. pp. 191–198.

9. Koza J.R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. Cambridge, Massachusetts, London, MA: MIT Press, 1992. 819 p.

10. Zelinka I. Analytic programming by Means of Soma Algorithm // Mendel '02 In: Proc. 8th International Conference on Soft Computing Mendel'02, Brno, Czech Republic, 2002, pp. 93–101.

11. Zelinka I., Oplatkova Z. Analytic programming // Comparative Study. CIRAS'03, The second International Conference on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems, Singapore, 2003.

12. Zelinka I., Nolle L., Oplatkova Z. Analytic Programming – Symbiloc Regression by Means of Arbitrfary Evolutionary Algorithms // Journal of Simulation. 2012. Vol. 6, no. 9. pp. 44–56.

Рецензенты:

Никульчев Е.В., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, НОУ ВО «Московский технологический институт», г. Москва;

Логинова Е.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы», ФГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 04.02.2015.

УДК 691.5:553.3:661.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЕГО ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Логанина В.И., Полубояринов П.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, e-mail: n_eroshkina@mail.ru

Приведены результаты исследования свойств геополимерного бетона на основе композиционного вяжущего, полученного с использованием дисперсных отходов добычи и переработки магматических горных пород и шлака. Анализ характеристик водопоглощения в различных условиях (при полном погружении в воду и в условиях капиллярного подсоса), а также морозостойкости исследованного бетона показал, что новый материал, несмотря на деструктивные процессы, протекающие в нем при циклическом насыщении водой и высушивании, а также замораживании и оттаивании, способен продолжительное время противостоять действию негативных факторов. При сопоставлении установленных характеристик новой разновидности бетона со свойствами портландцементного бетона можно прогнозировать высокую долговечность геополимерного бетона. Полученные результаты позволяют рекомендовать новый материал для опытно-промышленного производства и применения.

Ключевые слова: геополимерное вяжущее, бетон, высолообразование, водопоглощение, морозостойкость, капиллярный подсос, долговечность

INVESTIGATION OF PROPERTIES CONCRETE BASED ON COMPOSITE GEOPOLYMER BINDER WHICH EFFECT ON ITS DURABILITY

Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Loganina V.I., Poluboyarinov P.A.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: n_eroshkina@mail.ru

This paper describes results of the study of properties of geopolymer concrete on the basis of the composite binder obtained with using finely ground waste of extraction and processing of magmatic rocks and slag. Analysis of the characteristics of water absorption of geopolymer concrete under different conditions (when fully submerged in water and in a capillary suction) and its frost resistance was conducted. However, in spite of destructive processes taking place in the new geopolymer material under cyclic water-saturated and drying, and freezing and thawing, geopolymer able to resist the action of negative factors for a long time. Comparison of established characteristics of a new kind of concrete with Portland cement concrete properties allows to predict the high durability of geopolymer concrete. The obtained results allow us to recommend new material for the experimental-industrial production and application.

Keywords: geopolymer binder, concrete, efflorescence, water absorption, frost resistance, capillary suction, durability

Одной из наиболее перспективных технологий строительных материалов, использующих в качестве сырья промышленные отходы, является производство композиционных геополимерных (минерально-щелочных) вяжущих на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород [1, 6, 8]. Развитие и внедрение в практику этой технологии позволит решить ряд экономических и экологических проблем: снизить стоимость строительных материалов, уменьшить потребность строительной индустрии в природных минерально-сырьевых ресурсах и утилизировать колоссальные объемы промышленных отходов. Такие вяжущие могут быть получены по безобжиговой технологии на основе пылевидных отходов дробления щебня, обогащения руд черных и цветных металлов. Вследствие высокой дисперсности эти отходы не требуют значительных затрат энергии для их измельчения до необходимой удельной поверхности [1]. Для обеспечения водостойкости геополимерных вяжущих используют добавку другого промышленного отхода – доменного гранулированного шлака в количестве 8–30% [2]. Активация твердения таких композиционных вяжущих производится за счет их затворения раствором низкоосновного жидкого стекла.

Производство и применение строительных материалов на основе промышленных отходов эффективно, если выпускаемые материалы имеют достаточно высокую долговечность. По оценкам различных исследователей, геополимерные вяжущие на основе метакаолина, золы и шлака характеризуются в сравнении с портландцементом более высокой эксплуатационной стойкостью по отношению ко многим видам деструктивных воздействий окружающей среды [5, 6]. Однако долговечность геополимерных материалов на основе магматических горных пород в настоящее время не исследована.

В настоящее время процессы, протекающие в геополимерных вяжущих при их эксплуатации, полностью не изучены, в связи с чем достоверно прогнозировать

долговечность этих материалов в различных условиях эксплуатации невозможно.

Наиболее часто встречающейся причиной разрушения бетонов общестроительного назначения от воздействия окружающей среды в России и других странах с холодным климатом является морозная деструкция цементного камня в результате попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии [4]. Этот процесс в несколько раз ускоряется при использовании противогололедных средств, что характерно для бетонов автодорожных сооружений. Другими причинами значительного снижения эксплуатационных характеристик бетона могут быть его попеременное насыщение и высушивание, а также химическая коррозия цементного камня при воздействии на него коррозионно-активных растворов солей и кислот. Последний вид деструктивного воздействия окружающей среды характерен для подземных частей зданий и сооружений в условиях воздействия минерализованных вод, а также для некоторых конструкций промышленных сооружений. Воздействие различных коррозионно-активных агентов на бетон в настоящей работе не рассматривается.

Целью настоящей работы было исследование стойкости бетона на основе геополимерного вяжущего с использованием гранита к действию основных факторов, вызывающих разрушение строительных материалов.

Материалы и методы исследования

Нами были проведены исследования долговечности бетона, полученного с применением геополимерного вяжущего на основе отсева дробления гранитного щебня. Расход измельченной до удельной поверхности 320 м^2/кг горной породы составлял 316 кг/м^3, в состав бетона вводилось 105 кг/м^3 модифицирующей добавки – доменного гранулированного шлака, измельченного до удельной поверхности 350 м^2/кг. Активация твердения вяжущего осуществлялась раствором жидкого стекла с силикатным модулем 1,2. Расход активатора составлял 106 кг/м^3, а воды – 85 л/м^3. Содержание крупного заполнителя – гранитного щебня фр. 5–20 мм – составляло 1375 кг/м^3, мелкого заполнителя – песка – 595 кг/м^3.

Через 28 суток твердения в нормальных условиях образцы этого бетона были испытаны на морозостойкость по второму методу в соответствии с ГОСТ 10060-2012. Кроме того, определялись изменение массы и прочности образцов бетона размером 100×100×100 мм при циклическом насыщении водой в течение 7 суток и высушивании при 105°С в течение 3 суток, а также кинетика водопоглощения таких же образцов при их полном и частичном (в условиях, обеспечивающих капиллярный подсос) погружении в воду.

Оценка капиллярного водопоглощения бетона производилась по коэффициенту $C = 0{,}1\ (m_2 - m_1)$, где m_1 и m_2 – соответственно массы образца бетона через 10 и 90 мин после погружения в воду на глубину 5…10 мм [7].

Результаты исследования и их обсуждение

При циклическом насыщении и высушивании бетона на основе композиционного вяжущего отмечаются повышение водопоглощения и потеря массы образцов (рис. 1). Снижение массы образцов объясняется вымыванием из вяжущего камня несвязанного щелочного активатора. Это приводит к увеличению объема открытых пор и повышению водопоглощения, что может негативно отразиться на долговечности бетона, в частности снизить его морозостойкость и коррозионную стойкость. Однако значения водопоглощения невелики и сопоставимы с этой характеристикой для многих осадочных горных пород. После 3–4 циклов насыщения-высушивания снижение массы образцов и повышение водопоглощения не отмечаются, что свидетельствует о прекращении растворения избыточной щелочи. Значения водопоглощения геополимерного бетона (см. рис. 1) в 1,5…2 раза ниже по сравнению с портландцементным бетоном [4].

Рис. 1. Изменение водопоглощения и изменение массы бетона в процессе насыщения-высушивания

Циклическое насыщение и высушивание не оказывает деструктивного влияния на геополимерный бетон – предел прочности при сжатии после 10 циклов повысился на 18% и составил 43,4 МПа, что объясняется продолжением твердения вяжущего в водной среде.

В условиях капиллярного подсоса, при погружении образца в воду на 5…7 мм сухая поверхность покрывается через одни сутки белым налетом, который через 3…4 суток превращается в «шубу» толщиной 1…3 мм, состоящую из хаотично расположенных чешуйчатых и нитевидных кристаллов (рис. 2). После одно-двукратного смывания высолов их появление не возобновляется.

Оценка массовой концентрации катионов натрия, калия, кальция, магния и др. в растворенных высолах методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105 М» по методике [3] показала, что 97,8 масс. % катионов представлено катионами натрия (рис. 3). Это позволяет сделать вывод о том, что причиной высолообразования является карбонизация мигрировавшего на поверхность бетона химически не связанного NaOH. Полученный вывод согласуется с результатами титрования растворенных высолов 0,1 Н раствором соляной кислоты.

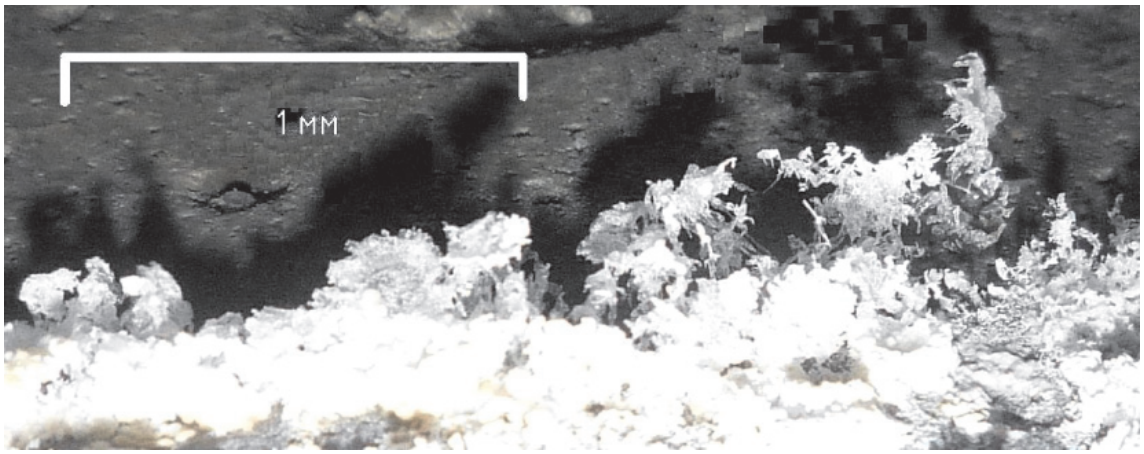


Рис. 2. Высолы на поверхности геополимерного бетона, образующиеся в условиях капиллярного подсоса воды

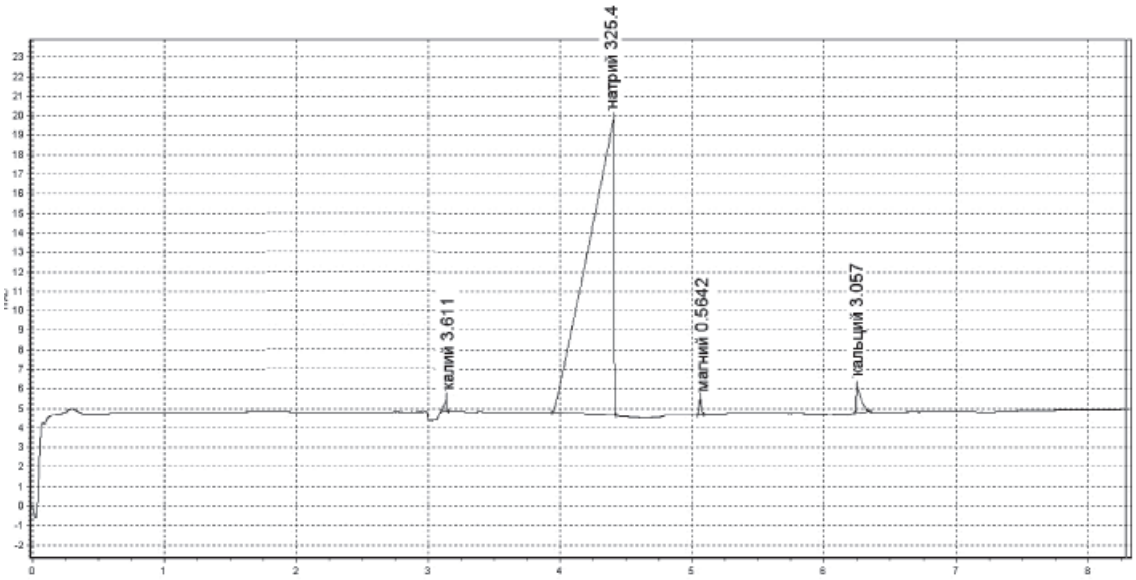


Рис. 3. Электрофореграмма высолов геополимерного бетона

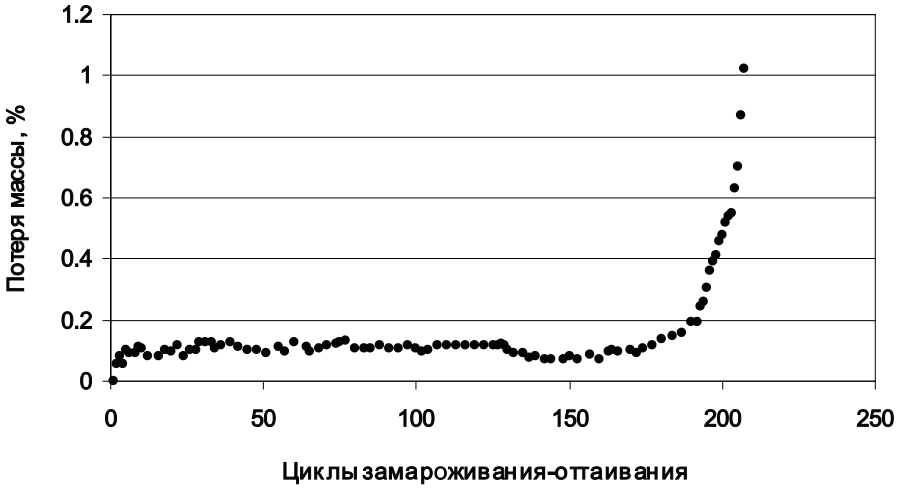


Рис. 4. Средние значения потерь массы основных образцов в процессе испытания на морозостойкость

Коэффициент капиллярного водопоглощения для исследованного геополимерного бетона составил 0,155 ± 0,01, что сопоставимо с этой характеристикой для цементных бетонов с равной прочностью.

Испытания геополимерного бетона на морозостойкость показали, что до 190-го цикла замораживания-оттаивания практически не происходит потерь массы образцов (рис. 4). Испытания были прекращены после 207-го цикла, затем была определена прочность основных образцов, которая составила 37,7 МПа, что на 4 % выше прочности контрольного состава.

Морозостойкость геополимерного бетона соответствует марке F_2 200 для дорожных бетонов и марке F_1 600 для бетонов общестроительного назначения. Такой морозостойкости достаточно для применения нового материала в производстве широкой номенклатуры бетонных и железобетонных конструкций, используемых в жилищном, дорожном и промышленном строительстве большинства климатических районов России.

Выводы

При циклическом воздействии на геополимерный бетон насыщения водой и высушивания происходит изменение характеристик открытой пористости, что может негативно сказаться на долговечности бетона, однако этот процесс быстро замедляется. Бетоны, изготовленные с применением композиционного геополимерного вяжущего на основе измельченных отсевов гранитного щебня с добавкой шлака, характеризуются низким водопоглощением и достаточно высокой морозостойкостью. Установленные значения свойств исследованного бетона при их сравнении со свойствами портландцементного бетона позволяют прогнозировать долговечность геополимерного бетона, достаточную для производства и применения конструкций, использующихся при различных видах строительства. С учетом полученных результатов можно рекомендовать новый материал для опытно-промышленного производства и применения.

Выполнена в рамках государственной работы «Обеспечение проведения научных исследований».

Список литературы

1. Ерошкина Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 62–65.

2. Ерошкина Н.А. Малоэнергоемкие ресурсосберегающие технологии производства вяжущих для конструкционных бетонов / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал – 2013. – № 6. URL: http://www.science-education.ru/113-10900 (дата обращения: 15.11.14).

3. Количественный химический анализ вод. Методика измерения концентрации катионов аммония, калия, натрия, лития, магния, стронция, природных (в том числе минеральных) и сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». – М.: Люмэкс- маркетнг, 2011. – 36 с.

4. Коровкин М.О. Ресурсосберегающая эффективность суперпластификатора в бетоне / М.О. Коровкин, В.И. Калашников // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 59–61.

5. Bernal S.A., de Gutiérrez R.M., Provis J.L. Engineering and durability properties of concretes based on alkali-activated granulated blast furnace slag/metakaolin blends. Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 33. – P. 99–108.

6. Davidovits J. Geopolymer chemistry and applications. 3 rd eddition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. – 614 p.

7. EN 1015-18:2002 Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.

8. Gimeno D., Davidovits J., Marini C., Rocher P., Tocco S. and al. Desarrollo de un cemento de base silicatada a partir de rocas volcánicas vítreas alcalinas: interpretación de los resultados preindustriales basada en la composición químico-mineralógica de los precursores geológicos // Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio. – 2003. – Vol. 42. – P. 69–78.

References

1. Eroshkina N.A. Vyazhushhee, poluchennoe iz magmaticheskikh gornykh porod s dobavkoj shlaka, i beton na ego osnove / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin // Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo. 2011. no. 2. pp. 62–65.

2. Eroshkina N.A. Maloehnergoemkie resursosberegayushhie tekhnologii proizvodstva vyazhushhikh dlya konstruktsionnykh betonov / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: elektronnyj nauchnyj zhurnal 2013. no. 6. URL: http://www.science-education.ru/113-10900 (data obrashcheniya: 15.11.14).

3. Kolichestvennyj khimicheskij analiz vod. Metodika izmereniya kontsentratsii kationov ammoniya, kaliya, natriya, litiya, magniya, strontsiya, prirodnykh (v tom chisle mineralnykh) i stochnykh vod metodom kapillyarnogo ehlektroforeza s ispolzovaniem sistemy kapillyarnogo ehlektroforeza «Kapel». Moskva: Lyumehks- marketng, 2011. 36 p.

4. Korovkin M.O. Resursosberegayushhaya ehffektivnost superplastifikatora v betone / M.O. Korovkin, V.I. Kalashnikov // Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo. 2011. no. 2. pp. 59–61.

5. Bernal S.A., de Gutiérrez R.M., Provis J.L. Engineering and durability properties of concretes based on alkali-activated granulated blast furnace slag/metakaolin blends. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 33. pp. 99–108.

6. Davidovits J. Geopolymer chemistry and applications. 3 rd eddition. France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. 614 p.

7. EN 1015-18:2002 Methods of test for mortar for masonry Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar.

8. Gimeno D., Davidovits J., Marini C., Rocher P., Tocco S. and al. Desarrollo de un cemento de base silicatada a partir de rocas volcánicas vítreas alcalinas: interpretación de los resultados preindustriales basada en la composición químico-mineralógica de los precursores geológicos. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio. 2003. Vol. 42. pp. 69–78.

Рецензенты:

Демьянова В.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Инженерная экология», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Кошев А.Н., д.х.н., профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 625.72.001.63

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕСТНОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Жуков В.И., Копылов С.В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kopylovsergey@inbox.ru

Существующие стандарты по проектированию сетей автомобильных дорог не позволяют рационально проектировать и развивать дорожную сеть в условиях Крайнего Севера. Это наглядно подтверждает текущее состояние сети автомобильных дорог в Республике Саха (Якутия). На сегодняшний день в Якутии около 70% населения не имеют круглогодичной транспортной связи по автомобильным дорогам с твердым покрытием. В связи с этим обеспечение транспортной доступности населенных пунктов республики является актуальным. При разработке математической модели принято, что основным требованием к оптимальной сети автомобильных дорог является обеспечение потребителей транспортной доступностью. На основе теории графов разработана математическая модель проектирования местной сети автомобильных дорог, учитывающая специфические условия Республики Саха (Якутия).

Ключевые слова: местная сеть автомобильных дорог, теория графов, транспортная доступность, автозимники

JUSTIFICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF DESIGN OF THE LOCAL NETWORK OF HIGHWAYS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Zhukov V.I., Kopylov S.V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kopylovsergey@inbox.ru

The existing standards on design of networks of highways don't allow to project and develop rationally a road network in the conditions of Far North. It visually represents current state of a network of highways in the Republic of Sakha (Yakutia). Today in Yakutia about 70% of the population have no year-round transport communication on highways with a hard coating. In this regard ensuring transport availability of settlements of the republic is topical issue. When developing mathematical model it is accepted that the main requirement to an optimum network of highways is providing consumers with transport availability. On the basis of the theory of counts the mathematical model of design of a local network of highways considering specific conditions of the Republic of Sakha (Yakutia) is developed.

Keywords: local road network, graph theory, transport accessibility, winter snow roads

Руководством страны принят ряд решений, направленных на ускорение социально-экономического развития Дальнего Востока и Сибири. В Указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» поставлена задача обеспечения транспортными связями труднодоступных территорий в Дальневосточном федеральном округе [2].

Решение поставленной задачи в условиях Республики Саха (Якутия) без соответствующей для региона научно обоснованной базы является трудным, но в то же время очень актуальным. Для обеспечения транспортной доступности населенных пунктов Республики Саха (Якутия) необходимо разработать научно обоснованную методику проектирования местной сети автомобильных дорог.

В Республике Саха (Якутия) находятся 629 населенных пунктов. Из них круглогодичной транспортной связью (дорогами с твердым покрытием) обеспечены только 46 населенных пунктов. Эксплуатационная протяженность сети автомобильных дорог общего пользования к концу 2014 года составляет 35 656 км. Из них к дорогам с твердым покрытием относятся 30%, остальные 70% дорог представлены автозимниками, частично имеющими грунтовое покрытие.

Одной из причин крайне недостаточной транспортной доступности населенных пунктов Республики Саха (Якутия) является то, что действующие методы проектирования сети автомобильных дорог в большей степени ориентированы на центральные и западные регионы страны с более развитой сетью дорог и относительно малыми территориями и не отражают в полной мере специфику проектирования сети автомобильных дорог местного значения в Республике Саха (Якутия) [1, 3, 4, 6, 7].

В связи с этим крайне актуальной является разработка математической модели проектирования местной сети автомобильных дорог для обеспечения транспортной доступности населенных пунктов с учетом социально-экономического положения в районах Республики Саха (Якутия).

Цель исследования – разработка математической модели проектирования местной сети автомобильных дорог в специфических условиях Республики Саха (Якутия).

Местная сеть автомобильных дорог должна способствовать социально-экономическому развитию района исследования.

Поэтому, разработка математической модели проектирования местной сети автомобильных дорог в условиях Якутии должна опираться в первую очередь на создание круглогодичной транспортной связи по автомобильным дорогам с твердым покрытием между районным центром и сельскими населенными пунктами независимо от интенсивности движения.

Исходя из этого при проектировании местной дорожной сети необходимо учитывать:

– потребность населения в ежедневных поездках;

– внетранспортные убытки района из-за отсутствия круглогодичной транспортной связи по автомобильным дорогам с твердым покрытием;

– долю населения, проживающего в зоне транспортной дискриминации;

– сложившуюся сеть автомобильных дорог района исследования.

Кроме того, выдвигаются требования для проектирования местной сети автомобильных дорог, требующей улучшения:

– участки дорог, в зоне тяготения которых проживает наибольшая численность населения;

– участки дорог в местах деятельности предприятий сельскохозяйственного назначения;

– участки дорог, по которым пролегает путь жизнеобеспечивающих товаров и грузов;

– участки дорог с неудовлетворительными транспортно-эксплуатационными характеристиками;

– участки дорог с набольшим уровнем загрузки;

– участки дорог, в зоне тяготения которых на перспективу планируется создание или развитие производственных мощностей, заводов, образовательных учреждений, медицинских учреждений, домов культуры и рекреационных мест.

Для потребителя автомобильных дорог одним из важных факторов, достоверно характеризующих качество и эффективность работы сети автомобильных дорог, а также работы грузопассажирских перевозок между корреспондирующими пунктами, являются транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги.

Транспортно-эксплуатационные показатели сети автомобильных дорог характеризуются рядом следующих показателей: интенсивность движения; объем перевозок; состав движения; пропускная способность; провозная способность дороги; коэффициент загрузки дороги движением; скорость движения; время в пути; тип дорожного покрытия [5].

Таким образом, для разработки математической модели проектирования местной сети автомобильных дорог с учетом требований потребителей следует рассматривать транспортно-эксплуатационные показатели. Поскольку качество и эффективность работы сети автомобильных дорог являются одними из главных составляющих развития сети автомобильных дорог, их можно рассматривать в качестве функции транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог.

При разработке рабочей модели не требуется учитывать все транспортно-эксплуатационные показатели. В рамках исследования достаточно принять за основные: скорость движения; время в пути; тип дорожного покрытия.

В дальнейшем принятые транспортно-эксплуатационные показатели рассматриваются в качестве весовых характеристик транспортных связей.

Учитывая ограничения по финансовым возможностям, проектирование местной сети дорог следует проводить поэтапно и отдельно по транспортным связям. Улучшение транспортно-эксплуатационных характеристик транспортных связей проводится путем перевода низшего типа покрытия в переходный тип покрытия дороги.

Проектирование местной сети автомобильных дорог целесообразно проводить в два этапа:

– выявление транспортных связей с наименьшими весовыми характеристиками;

– построение местной сети дорог на основе улучшения весовых характеристик транспортных связей.

Отбор транспортных связей с наименьшими весовыми характеристиками проводится на основе теории графов. Сеть автомобильных дорог представляется в виде графа, задаваемого некоторым множеством вершин и ребер. При этом вершины соответствуют населенным пунктам, а ребра – автомобильным дорогам (транспортным связям).

Задача проектирования местной сети автомобильных дорог заключается в том, чтобы связать данное множество населенных пунктов (вершин графа) множеством автомобильных дорог (ребер) с наименьшими весовыми характеристиками [6].

Граф G представлен парой (X, U) [6].

$$G = (X, U), \quad (1)$$

где $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ – множество вершин интерпретирующих населенные пункты.

При этом населенные пункты не являются взвешенными, то есть не имеют весовых характеристик; $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_n\}$ – множество ребер, интерпретирующих автомобильные дороги, составляющие опорную сеть района. При этом ребра являются взвешенными, то есть автомобильные дороги имеют численные весовые характеристики.

Поскольку автомобильная дорога имеет прямое и обратное направление, весовые характеристики ребер графа будут одинаковыми в обоих направлениях. Отсюда следует, что весовые характеристики ребер в прямом направлении U_{ij} и обратном направлении U_{ji} одинаковы:

$$U_{ij} = U_{ji}. \quad (2)$$

Исходя из условия (2), граф G является симметричным и неориентированным. При выявлении транспортных связей с наименьшими весовыми характеристиками рассматриваются только межпоселенческие автомобильные дороги, то есть автомобильные дороги внутри населенных пунктов не рассматриваются.

Весовые характеристики любого ребра u_n, $n \in [1, \ldots, N]$ интерпретируют транспортные связи, задаются набором показателей:

– средневзвешенная скорость движения

$$V_{ij} = \{v_1, v_2, \ldots, v_n\};$$

– время в пути (средневзвешенные затраты времени на пассажира и грузоперевозки)

$$t_{ij} = \{t_1, t_2, \ldots, t_n\};$$

– тип дорожного покрытия

$$P_{ij} = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}.$$

Весовые характеристики, интерпретирующие комплекс всех показателей, характеризующих транспортно-эксплуатационное состояние, обозначаются через K_{ij}.

Задача определения транспортных связей с наименьшими весовыми характеристиками заключается в построении первоначального графа (X, U). Граф (X, U), отображающий опорную сеть автомобильных дорог района исследования, представлен на рис. 1.

Пользуясь данными, представленными графом (X, U), строится граф (Y, V), интерпретирующий транспортные связи с наименьшими весовыми характеристиками (рис. 2).

Сплошной линией показаны транспортные связи с наименьшими весовыми характеристиками. Пунктирной линией – с удовлетворительными весовыми характеристиками.

Для определения транспортных связей со слабыми весовыми характеристиками устанавливаются численные характеристики между каждой парой смежных точек (корреспондирующих пунктов), то есть устанавливаются весовые характеристики ребер (транспортных связей) графа (X, U).

Наиболее полно весовые характеристики транспортных связей между каждой парой корреспондирующих пунктов в графе (X, U) определяются с помощью условной приведенной длины по следующей формуле [6]:

$$L_{\text{прив}} = l_{ij}\alpha, \quad (3)$$

где

$$\alpha = \frac{aD}{Q} + bT, \quad (4)$$

$L_{\text{прив}}$ – приведенная длина транспортных связей; l_{ij} – расстояние между вершинами, км; D – дорожные затраты, тыс. руб.; T – транспортная составляющая себестоимости перевозок, тыс. руб.; Q – объем перевозимых грузов, т; a и b – коэффициенты для учета суммарных дорожных затрат.

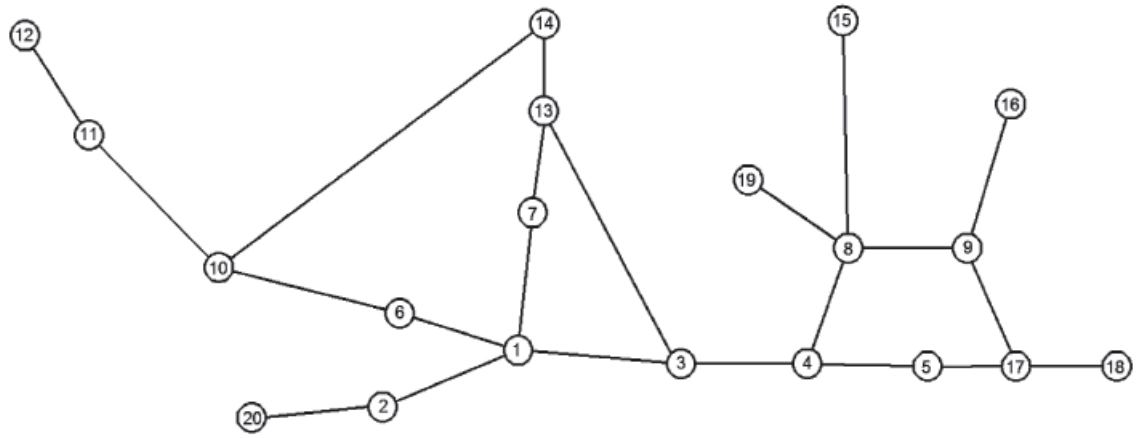


Рис. 1. Граф (X, U), представляющий схему автомобильных дорог района исследования: 1 – 20 – корреспондирующие пункты

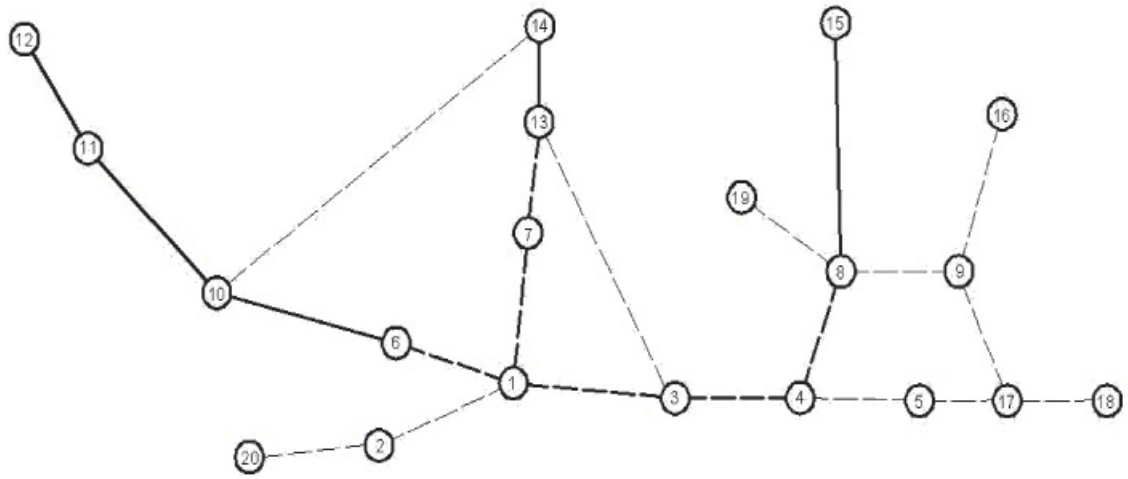


Рис. 2. Граф (Y,V), представляющий участки автомобильных дорог района исследования с наименьшими весовыми характеристиками: 1 – 20 – корреспондирующие пункты

В практике определения приведенной длины ($L_{прив}$) широко применяется упрощенная формула следующего вида [6]:

$$L_{прив} = \frac{l_{ij}}{Q}, \quad (5)$$

где l_{ij} – расстояние между вершинами, км; Q – объем перевозимых грузов, т.

Основными величинами для определения приведенной длины являются расстояние между корреспондирующими пунктами и соответствующий объем перевозимых грузов. Поскольку в данном случае в качестве весовых характеристик выбраны скорость движения, время в пути и тип дорожного покрытия, то зависимость (5) примет следующий вид:

$$L_{прив} = \frac{l_{ij}}{V_{ij}\, t_{ij}\, P_{ij}}; \quad (6)$$

$$K_{ij} = V_{ij} t_{ij} P_{ij}, \quad (7)$$

где V_{ij} – средневзвешенная скорость движения между вершинами, км/ч; t_{ij} – время в пути между вершинами, ч; P_{ij} – тип покрытия, тогда

$$L_{прив} = \frac{l_{ij}}{K_{ij}}, \quad (8)$$

где K_{ij} – комплекс транспортно-эксплуатационных характеристик между вершинами.

Таким образом, весовая характеристика автомобильной дороги между вершинами определяется как отношение расстояния между корреспондирующими пунктами к комплексу показателей характеризующих транспортно-эксплуатационное состояние участка автомобильной дороги.

Заключение

С учетом сложившейся сети автомобильных дорог местного значения Республики Саха (Якутия) были приняты транспортно-эксплуатационные показатели, наиболее полно характеризующие требования потребителей к оптимальной сети автомобильных дорог.

На основе теории графов была обоснована математическая модель для проектирования местной сети автомобильных дорог в условиях Республики Саха (Якутия), которая позволяет строить и оптимизировать транспортные связи (участки автомобильных дорог). Проектирование сети местных автомобильных дорог проводится по очередности, исходя из транспортно-эксплуатационного состояния участков дорог. Это позволяет рационально распределить капитальные вложения, выделенные для повышения транспортной доступности района исследования.

В дальнейшем полученная математическая модель будет применяться для разработки методики проектирования местной сети автомобильных дорог в условиях Республики Саха (Якутия).

Список литературы

1. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. – М., 2012.

2. Доклад Министра транспорта РФ на заседании Правительственной комиссии по вопросам развития промышленности, технологий и транспорта. URL: http://www.aviaport.ru/digest/2008/02/01/135810.html. (дата обращения: 23.10.2014).

3. Паршиков В.А. О построении местной дорожной сети // Развитие сети автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1971. – С. 71–101.

4. Рекомендации по проектированию сети автомобильных дорог областного и местного значения. – М., 1979. – 40 с.

5. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. – М.: Академия, 2008. – 342 с.

6. Хомяк Я.В. Проектирование оптимальных сетей автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1969. – 144 с.

7. Ярмолинский В.А. Оптимизация развития региональной автодорожной сети Дальневосточного федерального округа. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 236 с.

References

1. SP 34.13330.2012 Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.05.02-85*. M., 2012.

2. Doklad Ministra transporta RF na zasedanii Pravitel'stvennoj komissii po voprosam razvitija promyshlennosti, tehnologij i transporta. URL: http://www.aviaport.ru/digest/2008/02/01/135810.html.

3. Parshikov V.A. O postroenii mestnoj dorozhnoj seti // Razvitie seti avtomobil'nyh dorog. – M.: Transport, 1971. pp. 71–101.

4. Rekomendacii po proektirovaniju seti avtomobil'nyh dorog oblastnogo i mestnogo znachenija. – M., 1979. – 40 p.

5. Sil'janov V.V., Domke Je.R. Transportno-jekspluatacionnye kachestva avtomobil'nyh dorog i gorodskih ulic. M.: Akademija, 2008. 342 p.

6. Homjak Ja.V. Proektirovanie optimal'nyh setej avtomobil'nyh dorog. M.: Transport, 1969. 144 p.

7. Jarmolinskij V.A. Optimizacija razvitija regional'noj avtodorozhnoj seti Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga. Vladivostok: Dal'nauka, 2005. 236 p.

Рецензенты:

Инжутов И.С., д.т.н., профессор кафедры строительных конструкций и управляемых систем инженерно-строительного института, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск;

Емельянов Р.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инженерных систем зданий и сооружений, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 621.315.6

ОСОБЕННОСТИ В СПЕКТРАХ ЭПР РАЗБАВЛЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА $PB_{1-X}MN_XS$ (0,0001 < *X* < 0,008)

[1]Зайнуллин Р.Р., [1,2]Уланов В.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, e-mail: rrza7@yandex.ru;

[2]Казанский физико-технический институт Казанского научного центра РАН, Казань

Методом ЭПР (9320 GHz; 4,2 K < *T* < 90 K) изучены изменения локальной структуры центров Mn^{2+} в кристаллах разбавленного магнитного полупроводника $Pb_{1-x}Mn_xS$, происходящие с возрастанием концентрации марганца от *x* = 0,0001 до *x* = 0,008. Обнаружено, что при *x* < 0,0002 каждый ион марганца замещает катион свинца и оказывается в кристаллическом поле кубической симметрии, создаваемом шестью ближайшими к марганцу ионами серы. Повышение концентрации марганца в твердом растворе $Pb_{1-x}Mn_xS$ приводит к неоднородному распределению ионов Mn^{2+} и к образованию микроскопических объемов с относительно высокой концентрацией этих ионов. Анализ угловых и температурных зависимостей спектров ЭПР исследуемых ионов Mn^{2+} привел к выводу о том, что в этих объемах центры Mn^{2+} оказываются дипольно неустойчивыми (псевдо-эффект Яна – Теллера). Этот эффект сопровождается смещением каждого из ионов марганца в одно из восьми нецентральных положений тригонального типа. В таких центрах ионы Mn^{2+} находятся в температурно-зависимом туннельном и надбарьерном молекулярном движении между этими восемью нецентральными позициями.

Ключевые слова: разбавленный магнитный полупроводник, узкощелевой полупроводник, PbS, марганец, ЭПР, дипольная неустойчивость, псевдо-эффект Яна – Теллера, туннельное движение

PECULIARITIES IN EPR SPECTRA OF THE $PB_{1-X}MN_XS$ SEMIMAGNETIC SEMICONDUCTORS (0,0001 < *X* < 0,008)

[1]Zaynullin R.R., [1,2]Ulanov V.A.

[1]Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: rrza7@yandex.ru;

[2]Kazan E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute, Kazan

Changes of the local structure of Mn^{2+} centers in the semimagnetic $Pb_{1-x}Mn_xS$ crystalline solid solutions with increasing of manganese concentration from *x* = 0.0001 to *x* = 0,008 were investigated by EPR method (9320 GHz; 4,2 K < *T* < 90 K). It was revealed that, for *x* < 0,0002, each Mn^{2+} ion substituted for a lead cation and found itself in a cubic crystal field induced by six nearest sulfur ions. Increasing of manganese concentration in the $Pb_{1-x}Mn_xS$ solid solution gave a non-uniform distribution of Mn^{2+} ions and a formation of some microscopic regions with relatively high concentration of the ions under consideration. By analysis of the angular and temperature dependencies of the Mn^{2+} EPR spectra it was shown that the dipolar instability of Mn^{2+} centers was realized in these regions (pseudo-Jahn-Teller effect). This effect was accompanied with a displacement of each manganese ion to one of the eight non-central positions of a trigonal type. The Mn^{2+} ions in such centers took part in the temperature depending tunneling and overbarrier molecular motion between these eight non-central positions.

Keywords: semimagnetic semiconductor, narrow gap semiconductor, PbS, manganese, EPR, dipolar instability, pseudo-Jahn-Teller effect, tunneling motion

Разбавленные магнитные полупроводники (РМП) в настоящее время привлекают внимание исследователей тем, что эти материалы могут быть использованы для создания электронных приборов с магнитно зависимыми характеристиками. РМП изготавливаются из диамагнитных полупроводниковых материалов путем замещения части атомов базового материала элементами с незаполненными *d*- или *f*-оболочками. В настоящее время большой интерес исследователей продолжают вызывать РМП на базе узкощелевых полупроводников группы $A^{IV}B^{VI}$ (PbS, PbTe, PbSe, SnTe, GeTe) и их твердых растворов. В качестве магнитной компоненты в таких РМП выступают марганец, хром, европий, гадолиний и другие переходные и редкоземельные ионы. Повышенный интерес к данной группе материалов связан с их не совсем обычными свойствами: существенная непараболичность зоны проводимости, большие спин-орбитальные расщепления уровней свободных носителей заряда, а также малая эффективная масса, высокая подвижность носителей и длинные времена их жизни. Важно и то, что путем смешивания базовых соединений можно варьировать ширину запрещенной зоны получаемого таким образом твердого раствора. Такие твердые растворы в настоящее время широко используются в качестве материалов для создания электронных и оптоэлектронных приборов, работающих в средней и дальней инфракрасных областях: светоизлучающих

и лазерных диодов, высокочувствительных и быстродействующих детекторов инфракрасного излучения и высокодобротных термоэлектрических генераторов (см., например, [8, 10, 17]).

Сегодня наиболее изученными считаются РМП, синтезированные на базе полупроводников PbTe, PbSe, SnTe и легированные нейтральной парамагнитной примесью Mn^{2+}. Кристаллы РМП $Pb_{1-x}Mn_xS$ долгое время оставались в тени вследствие хрупкости этого материала и высокой упругости паров серы при температурах выращивания, хотя в последние годы интерес к ним резко возрос из-за открывшихся возможностей практического использования гетероструктур из чередующихся тонких слоев родственных кристаллов $Pb_{1-x}Me_xS$ и $Pb_{1-x}Me_xTe$ (где Me – магнитная примесь). До настоящего времени остались открытыми вопросы относительно структуры парамагнитных центров Mn^{2+} в кристаллической решетке PbS и их влияния на решетку матрицы. Ответы на эти вопросы могли быть получены в явной форме методом ЭПР. Однако в двух статьях [14, 16], найденных нами в известных научных журналах и посвященных исследованиям кристаллов $Pb_{1-x}Mn_xS$ методом ЭПР, необходимой информации о структуре примесных центров марганца не было получено из-за недостаточно высокого качества исследуемых кристаллов.

В данной работе нами была поставлена цель – получить качественные кристаллы $Pb_{1-x}Mn_xS$ с различными концентрациями марганца и, добившись разрешения линий тонкой структуры спектров ЭПР, получить экспериментальную информацию о структуре магнитных центров Mn^{2+} и их свойствах.

Материалы и методы исследования

Кристаллы $Pb_{1-x}Mn_xS$ выращивались методом направленной кристаллизации (методом Бриджмена) в запаянных кварцевых ампулах конической формы, протягиваемых в вертикальном направлении в тепловом поле цилиндрического графитового нагревателя. Для выращивания кристаллов была использована шихта, полученная путем предварительного плавления в запаянной кварцевой ампуле смеси из порошкообразного реактива PbS и металлической марганцевой пудры (оба компонента смеси – марки ОСЧ). На этой стадии подготовки шихты для гомогенизации расплава кварцевая ампула с расплавленной шихтой вращалась с переменной скоростью вокруг вертикальной оси. После остывания содержание кварцевой ампулы перемалывалось в осушенной атмосфере до мелкодисперсного состояния и тщательно перемешивалось. Перед герметизацией на каждом этапе объем кварцевой ампулы с шихтой откачивался диффузионным насосом при температуре 85° С в течение 5 часов с помощью масляного диффузионного насоса, снабженного ловушкой масляных паров на жидком азоте. На стадии выращивания кристалла скорость перемещения тигля в тепловом поле нагревателей составляла 2 мм/ч.

Наблюдения эффекта Холла при комнатной и азотной температурах показали, что все исследуемые кристаллы имели проводимость типа *n*. Удельное сопротивление выращенных образцов $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}0001$), определенное четырехзондовым методом при температуре жидкого азота, равнялось $0{,}11 \pm 0{,}01$ Ом·см и с повышением концентрации марганца уменьшалось (в образцах с $x = 0{,}008$ оно равнялось $0{,}07 \pm 0{,}01$ Ом·см).

Изучение угловых, температурных и концентрационных зависимостей в спектрах ЭПР проводилось на спектрометре Е-12 фирмы «Varian» в Х-дапазоне при температурах 4,2–90 К. Выше $T = 85$ К спектры ЭПР не наблюдались. В исследованиях методом ЭПР были использованы образцы с типичными размерами – 3,5×3,5×8,0 мм^3.

Результаты исследования и их обсуждение

В кристаллах $Pb_{1-x}Mn_xS$, содержащих марганец в небольших концентрациях ($x = 0{,}0001$), методом ЭПР наблюдаются 6 линий одинаковой интенсивности, имеющих форму Дайсона и возникающих благодаря сверхтонкому взаимодействию между электронным магнитным моментом иона Mn^{2+} ($3d^5$, ^6S; $S = 5/2$) с его ядерным магнитным моментом ($I = 5/2$). Наблюдаемые линии соответствуют электронным переходам с сохранением *z*-проекции ядерного спинового момента ($\Delta M_S = \pm 1$, $\Delta m_I = 0$, разрешенным переходам). ТС спектров ЭПР не наблюдалась, что могло свидетельствовать о малой величине параметра ТС (т.е. линии тонкой структуры находятся в пределах ширины наблюдаемых линий сверхтонкой структуры). Такой спектр обычно описывается упрощенным спиновым гамильтонианом [14, 16]

$$\hat{H}_S = g\beta_e \vec{H} \cdot \hat{S} + A\hat{S} \cdot \hat{I}, \qquad (1)$$

где $\vec{H}$ – напряженность внешнего магнитного поля; $\hat{S}$ и $\hat{I}$ – операторы электронного и ядерного спиновых моментов примесного иона Mn^{2+}; g – фактор спектроскопического расщепления электронных спиновых уровней (g-фактор); A – параметр сверхтонкой структуры спектра ЭПР.

Параметры спинового гамильтониана, определенные из экспериментальных спектров ЭПР образцов $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}0001$), имеют следующие значения: $g = 1{,}994 \pm 0{,}003$; $A = 7{,}63 \pm 0{,}05$ mT. Эти величины близки к тем, что были получены в работах [14, 16].

При описании ширины и формы шести линий СТС рассматривался случай объемного образца, в котором $T_T >> T_D$ и $T_T >> T_2$

(где: T_T – время, затрачиваемое электроном проводимости для прохождения сквозь объем образца; T_D – время диффузии электрона сквозь скин-слой δ; T_2 – время электронной спин-решеточной релаксации [4]). Ширины наблюдаемых линий определялись параметром [4]:

$$\Delta B = \mu_0 \cdot \Delta H = \mu_0 \frac{\hbar}{\beta_e g} \frac{1}{T_2}. \qquad (2)$$

При температуре 4,2 К величина ΔB для слабополевой компоненты СТС спектра ЭПР образца $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}0001$) оказалась примерно равной $0{,}72 \cdot 10^{-3}$ mT. Форма линий соответствовала параметру $(T_D/T_2) \approx 98$.

С повышением концентрации марганца ширины шести линий СТС (назовем их основными) уменьшаются до величины $\Delta B \approx 0{,}65 \cdot 10^{-3}$ mT при $x = 0{,}004$ и $T = 4{,}2$ К. Но при дальнейшем росте концентрации ширина этих линий начинает возрастать; например, $\Delta B \approx 0{,}83 \cdot 10^{-3}$ mT при $x = 0{,}008$ и $T = 4{,}2$ К. Форма указанных линий при изменениях концентрации марганца менялась незначительно, ($T_D/T_2 \approx 74$). Было также обнаружено, что с повышением концентрации марганца величина g-фактора уменьшается и для образца с $x = 0{,}004$ при $T = 4{,}2$ К оказывается равной $1{,}987 \pm 0{,}003$, однако величина параметра СТС A в пределах точности измерений не меняется. При этом с обеих сторон каждой из шести линий СТС появляются дополнительные линии (сателлиты), относительная амплитуда которых растет по мере увеличения значения x. Положения и ширины этих сателлитов меняются в зависимости от направления внешнего магнитного поля. На рис. 1 представлены спектры ЭПР образцов $Pb_{1-x}Mn_xS$ с различной концентрацией марганца (x), зарегистрированные в ориентации $<111> \| \vec{H}_0$ при температуре $T = 4{,}2$ К на частоте 9320 МГц, где видно появление и рост интенсивности сателлитов по мере возрастания величины x.

Изучение температурных зависимостей ширин линий ЭПР производилось в образце кристалла $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}004$) на низкополевой части спектра ЭПР в ориентации $<111> \| \vec{H}_0$. На рис. 2 представлены графики изменений ширин низкополевого сателлита и соответствующей ему основной линии спектра ЭПР в зависимости от температуры. Как следует из графиков, сначала ширины линий практически не меняются, но затем, начиная с температуры 15 К, линии начинают уширяться. В диапазоне температур $15\ K < T < 50$ K наблюдается примерно линейный рост ширин указанных линий, но при температурах $T > 50$ K уширение линий начинает происходить по экспоненте.

Угловые зависимости в экспериментальных спектрах ЭПР образца $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}004$), зарегистрированные при температуре 4,2 К на частоте 9320 МГц при вращении вектора внешнего магнитного поля $\vec{H}_0$ в кристаллографической плоскости (110), представлены на рис. 3, *а*. На этом рисунке углу $\Omega = 0°$ соответствует ориентация $<001> \| \vec{H}_0$, углу $\Omega \approx 34{,}7°$ – ориентация $<111> \| \vec{H}_0$, а углу $\Omega = 90°$ – $<110> \| \vec{H}_0$. Из рис. 3 *а* видно, что любая из четырех ориентаций образца $<111> \| \vec{H}_0$ является особой ориентацией, поскольку здесь сателлиты оказываются в экстремальных положениях (интервалы между соответствующими линиями СТС и их сателлитами становятся максимальными). Видно также, что положения шести основных линий СТС от угла практически не зависят, что обычно является признаком изотропии электронного зеемановского и сверхтонкого взаимодействий. Однако в то время как ширина основных линий спектра ЭПР от угла не меняются, у сателлитов она оказывается чрезвычайно анизотропной. В частности, ширина указанных сателлитов минимальна в ориентации $<111> \| \vec{H}_0$, но резко начинает расти с увеличением угла между соответствующей кристаллографической осью $\langle 111 \rangle$ и направлением вектора $\vec{H}_0$. Кроме того, в спектрах ЭПР, записанных в ориентациях $<001> \| \vec{H}_0$ и $<110> \| \vec{H}_0$, между шестью основными линиями СТС присутствуют по паре линий существенно меньшей интенсивности, положения которых от угла не зависят. По всем внешним признакам их можно отнести к так называемым запрещенным линиям, возникающим вследствие резонансных переходов между уровнями с отличающимися значениями проекций ядерного спина ($\Delta m_I = \pm 1$) [1, 9]. Следует отметить, что появление таких запрещенных линий в спектрах ЭПР свидетельствует о низкой симметрии кристаллического поля в позиции парамагнитного иона.

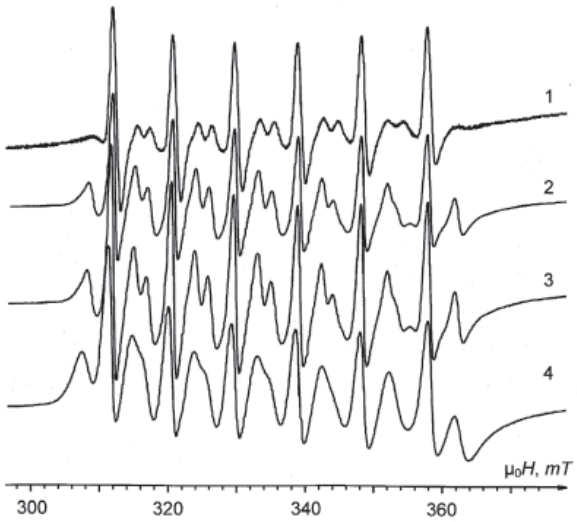


Рис. 1. Концентрационные зависимости в спектрах ЭПР кристаллов $Pb_{1-x}Mn_xS$, зарегистрированных на частоте 9320 МГц в ориентации $<111>\|\bar{H}_0$ при температуре 4,2 К ($1 – x = 2{,}0\cdot10^{-4}$; $2 – x = 8{,}4\cdot10^{-4}$; $3 – x = 4{,}0\cdot10^{-3}$; $4 – x = 8{,}0\cdot10^{-3}$)

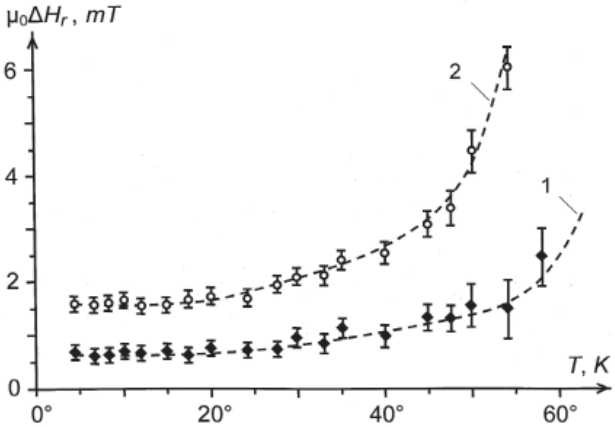


Рис. 2. Температурные зависимости ширины низкополевой компоненты сверхтонкой структуры спектра ЭПР (график 1) и ее левого сателлита (график 2) для образца $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 4{,}0\cdot10^{-3}$) в ориентации $<111>\|\bar{H}_0$ при температуре 4,2 К

В качестве причин появления указанных выше сателлитных линий нами рассматривались следующие:

1) образование пар ионов Mn^{2+}, оказавшихся в позициях наиболее близких друг к другу базовых катионов решетки;

2) образование точечного дефекта структуры, расположенного от примесного Mn^{2+} в направлении кристаллографической оси ⟨111⟩;

3) внедрение исследуемых ионов Mn^{2+} в междоузельные положения тригонального типа;

4) нарушение стабильности кубической симметрии кристаллической решетки PbS вокруг примесного марганца, локализовавшегося в позиции базового катиона (такой эффект предсказан и обнаружен авторами работ [5–7, 11, 13, 18] для кристалла PbTe, изоморфного кристаллу PbS). В любом из этих случаев мы могли рассматривать парамагнитную систему тригональной симметрии и, описывая экспериментальные угловые зависимости, представленные на рис. 3 *а*, могли использовать спиновый гамильтониан следующего вида:

$$H_S^{(i)} = \beta_e g \left\{H_{0x}^{(i)} \cdot S_x^{(i)} + H_{0y}^{(i)} \cdot S_y^{(i)} + H_{0z}^{(i)} \cdot S_z^{(i)}\right\} + A\left\{S_x^{(i)} \cdot I_x^{(i)} + S_y^{(i)} \cdot I_y^{(i)} + S_z^{(i)} \cdot I_z^{(i)}\right\} - \\ -\beta_N g_N \left\{H_{0x}^{(i)} \cdot I_x^{(i)} + H_{0y}^{(i)} \cdot I_y^{(i)} + H_{0z}^{(i)} \cdot I_z^{(i)}\right\} + H_{CF}^{(i)}, \quad (3)$$

где $H_{CF}^{(i)}$ – оператор, описывающий взаимодействие электронного спинового момента парамагнитного центра Mn^{2+} с кристаллическим полем, реализующееся через спин-орбитальное взаимодействие; верхний индекс i при компонентах вектора напряженности внешнего магнитного поля $\left(\vec{H}_0\right)$ и операторов $H_{CF}^{(i)}$, S и I соответствует номеру ансамбля, с которым связана локальная система координат и к которому принадлежит рассматриваемый центр ($i = 1$–4). В данном случае оператор взаимодействия с кристаллическим полем может быть представлен в следующем виде:

$$H_{CF}^{(i)} = B_2^0(i) \cdot \hat{O}_2^0(i) \qquad (4)$$

где операторы четвертого ранга не рассматриваются, поскольку они не проявили себя в кристаллах с низким уровнем марганца.

найдены представления вектора $\vec{H}_0$ в четырех локальных системах координат.

Далее, перебирая указанные выше причины появления сателлитных линий и опираясь на классическую теорию спинового гамильтониана, с точностью 3-го порядка теории возмущений нами были получены выражения для резонансных значений магнитного поля для всех электронных переходов, реализующихся при различных направлениях вектора $\vec{H}_0$ в кристаллографической плоскости (110). При этом допускалось, что линии ЭПР от электронных переходов между состояниями с высокими значениями проекций электронного спинового момента могут быть сильно уширенными и практически не наблюдаемыми. Оказалось, что для описания экспериментальных угловых зависимостей необходимо дополнительное

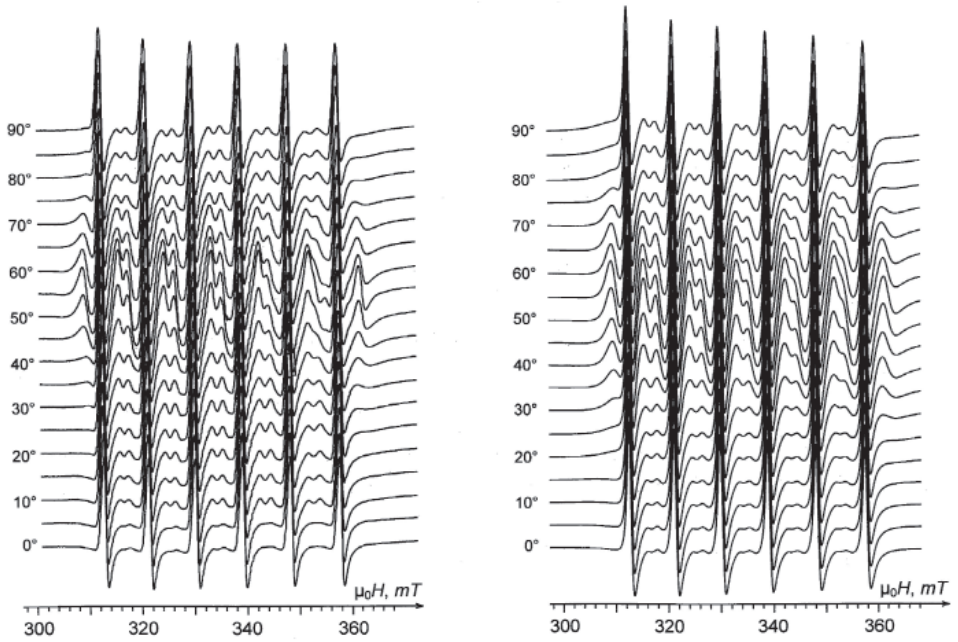


Рис. 3. Изменения вида спектра ЭПР образца кристалла $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 4{,}0 \cdot 10^{-3}$) при поворотах вектора $\vec{H}_0$ в кристаллографической плоскости (110): а – экспериментальные спектры ЭПР, зарегистрированные при различных значениях угла Ω; б – спектры ЭПР, вычисленные со спиновым гамильтонианом (3) с добавочными предположениями о характере анизотропии ширин линий

Первоначально вектор напряженности внешнего магнитного поля $\vec{H}_0$ был представлен нами в так называемой лабораторной системе координат. В данном случае в качестве осей лабораторной системы координат были выбраны кристаллографические оси симметрии 4-го порядка: $X_0 \rightarrow$ <100>, $Y_0 \rightarrow$ <010>, $Z_0 \rightarrow$ <001>. Затем были

предположение, выходящее за рамки классической теории спинового гамильтониана. Нам пришлось искусственно ввести анизотропию ширин наблюдаемых линий ЭПР. Без такого предположения полное описание угловых зависимостей в спектрах кристалла $Pb_{1-x}Mn_xS$ ($x = 0{,}004$) оказалось невозможным. В нашем случае удовлетворительное согласие симулированных спектров ЭПР

с экспериментальными (см. рис.3 *б*) было получено при условии, что ширины линий сателлитов ΔB_{sl} зависят от угла α между направлением вектора $\vec{H}_0$ и осью *z* соответствующей локальной системы координат согласно равенству

$$\Delta B_{sl}(\alpha) = \frac{\Delta B_{sl}(0)}{\cos^3 \alpha}, \qquad (5)$$

где $\Delta B_{sl}(0) = 1{,}58 \cdot 10^{-3}$ mT. Ширина линий СТС, соответствующих электронному переходу $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$, от угла α не зависела и определялась равенством

$$\Delta B_{gl} \approx 0{,}65 \cdot 10^{-3} \text{ mT}.$$

Величина параметра тонкой структуры спектра ЭПР, использованного в расчетах, оказалась равной

$$B_2^0 = 0{,}48 \cdot 10^{-3} \text{ mT}$$

Подробный анализ всех возможных моделей исследуемого центра Mn^{2+}, выполненный с учетом литературных данных [2, 3, 5–7, 11–13, 15, 18], позволил исключить (как маловероятные) три из четырех указанных выше причин появления сателлитных линий в спектрах ЭПР, оставив в качестве наиболее вероятной – нарушение стабильности кубической симметрии кристаллической решетки PbS в окрестностях ионов Mn^{2+} при превышении концентрации марганца некоторого критического уровня. Только в этом случае удалось непротиворечиво объяснить качественно высокую анизотропию ширин сателлитных линий и резкое уширение линий ЭПР при температурах $T > 60$ K.

Таким образом, у нас есть основания считать, что в кристалле $Pb_{1-x}Mn_xS$ ион Mn^{2+} замещает базовый катион Pb^{2+} и оказывается в центре координационного октаэдра (рис. 4), образованного шестью ближайшими ионами серы. Марганец и шесть ближайших к нему ионов серы представляют собой примесный центр, который (согласно предположению авторов работ [7, 13]) с повышением концентрации примеси Mn может оказаться дипольно неустойчивым (псевдоэффект Яна – Теллера). В результате ион Mn^{2+} смещается из центра своего координационного многогранника в одно из восьми нецентральных положений (на рис. 4 эти положения показаны заштрихованными пунктирными кружками, отмеченными как *Y*). В таком случае адиабатический потенциал примесного центра Mn^{2+} в кристалле $Pb_{1-x}Mn_xS$ будет содержать восемь эквивалентных ям, причем при не очень высоких барьерах между ними ион Mn^{2+} может переходить из ямы в яму благодаря возможности туннелирования или надбарьерных перескоков [2]. В то время как вероятности туннельных переходов с основного колебательного состояния в одной яме в основное состояние в соседней яме не должны сильно зависеть от температуры кристалла, вероятности надбарьерных перескоков будут расти экспоненциально с повышением температуры. Переходы между потенциальными ямами могут происходить как с сохранением проекции электронного спинового момента, так и без сохранения. Очевидно, что в последнем случае время спин-решеточной релаксации будет резко сокращаться с повышением частоты междуямных переходов (в литературе этот процесс называют туннельно-контролируемой спин-решеточной релаксацией [3, 12]). Отметим, что наличие дополнительного канала спин-решеточной релаксации в нашем случае подтверждается тем, что спектры ЭПР становятся ненаблюдаемыми при достаточно низких температурах ($T \sim 85$ K), что является необычным для иона Mn^{2+}.

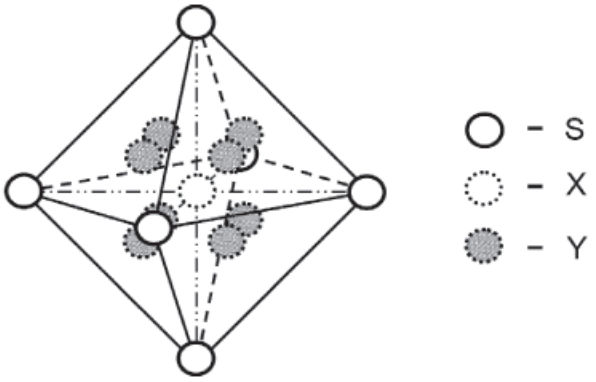


Рис. 4. Координационный октаэдр примесного иона Mn^{2+} в кристалле $Pb_{1-x}Mn_xS$ (незаштрихованным пунктирным кружком X указано исходное положение Mn^{2+}; заштрихованными пунктирными кружками Y указаны его нецентральные положения, в одно из которых он переходит при достаточно высокой концентрации)

В условиях, соответствующих частым междуямным переходам марганца, можно ожидать резкого повышения вероятности переходов без сохранения проекции электронного спинового момента из состояний $|\pm 5/2\rangle$ и $|\pm 3/2\rangle$ (поскольку резкие флуктуации кристаллического поля будут особенно сильно возмущать именно эти состояния). Следовательно, ширины линий ЭПР иона Mn^{2+}, обусловленных электронными резонансными переходами $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\pm 3/2\rangle$, могут значительно превышать ширины линий от переходов $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$, и такие линии могут оказаться ненаблюдаемыми. В таких случаях резонансные линии $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$ будут наиболее узкими, а рядом с ними с двух сторон могут наблюдаться более широкие линии от переходов $|\pm 3/2\rangle \leftrightarrow |\pm 1/2\rangle$.

Заключение

Сопоставление полученных в настоящем исследовании экспериментальных фактов с известными литературными данными (см. перечень приведенной литературы) приводят к следующим выводам:

1. Ионы Mn^{2+} в кристаллах $Pb_{1-x}Mn_xS$ замещают базовый катион свинца, образуя ионно-ковалентные связи с шестью ближайшими анионами серы.

2. Так как распределение примесных ионов марганца по объему кристалла $Pb_{1-x}Mn_xS$ оказывается неравномерным, образуются области с повышенной концентрацией примеси, где высокосимметричная конфигурация кристаллической решетки PbS становится энергетически невыгодной. В этих областях происходят смещения анионов серы и примесного иона марганца в новые равновесные положения, соответствующие тригональной симметрии примесных центров $[MnS_6]^{2+}$ с нецентральным положением иона Mn^{2+} (симметрия C_{3V}). Чем выше концентрация марганца, тем большая часть этих ионов оказывается в областях с нарушенной структурой решетки.

3. Обнаруженная нами сильная зависимость ширин линий ЭПР от направления внешнего магнитного поля H_0 связана, по-видимому, с частыми туннельными переходами центра между восемью ямами его адиабатического потенциала, происходящими без сохранения величины электронного спинового момента и сопровождаемыми сильными флуктуациями кристаллического поля, действующего на ион Mn^{2+}.

Список литературы

1. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. – М.: Мир, 1972. – Т.1. – 652 с.

2. Берсукер И.Б. Эффект Яна – Теллера и вибронные взаимодействия в современной химии. – М.: Наука, 1987. – 344 с.

3. Вихнин В.С. Реориентационная и спин-решеточная релаксация, обусловленная туннельно-контролируемым процессом // ФТТ. – 1978. – Т. 20. – С. 1340–1346.

4. Пул Ч.. Техника ЭПР-спектроскопии. – М.: Изд. Мир, 1970. – 557 с.

5. Трофимов В.Т., Аббасов Г.З., Спрингхольц Г., Бауэр Г., Засавицкий И.И. Энергетическая диаграмма гетероперехода $Pb_{1-x}Mn_xTe$/PbTe // ФТП. – 1993. – Т. 27, вып. 7. – С. 1158–1164.

6. Bozin E.S., Malliakas C.D., Souvatzis P., Proffen T., Spaldin N.A., Kanatzidis M.G., Billinge S.J.L. Entropically stabilized local dipole formation in lead chalcogenides // Science. – 2010. – Vol. 330. – P. 1660–1663.

7. Bukała M., Sankowski P., Buczko R., Kacman P. Structural and electronic properties of $Pb_{1-x}Cd_xTe$ and $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ternary alloys // Phys. Rev. B. – 2012. – Vol. 86. – P. 085205.

8. Chu J., Sher A. Physics and properties of narrow gap semiconductors // Shpringer Science + Business Media, LLC. – 2008. – 605 p.

9. Gisbergen S.J.C., Godlewski M., Gregorkiewicz T., Ammerlan C.A.J. Magnetic-resonance studies of interstitial Mn in GaP and GaAs // Phys. Rev. B. – 1991. – Vol. 44. – № 7. – P. 3012–3019.

10. Hicks L.D., Harman T.C., Sun X., Dresselhauss M.S. // Phys. Rev. B. – 1996. – Vol. 53. – P. R10493.

11. Jensen K.M.O., Bozin E.S., Malliakas C.D., Stone M.B., Lumsden M.D., Kanatzidis M.G., Shapiro S.M., Billinge S.J.L. Lattice dynamics reveals a local symmetry breaking in the emergent dipole phase of PbTe // Phys. Rev. B. – 2012. – Vol. 86. – P. 085313.

12. Lee K.P., Walsh D. Theory of tunneling assisted electron-spin-lattice relaxation // Canadian Journal of Physics. – 1971. – Vol. 49. – P. 1620–1629.

13. Mahendra A., Sanyal S.P. Effect of doping on dynamical properties of diluted magnetic semiconductors // Indian Journal of Pure and Applied Physics. – June 2004. – Vol. 42. – № 6. – P. 440–444 (2004).

14. Nistor S.V. Properties of artificially grown single crystals of galena // Journal of materials science. – 1983. – Vol. 18. – P. 1625–1628.

15. Oseroff S.B., Calvo R. Anisotropy and field dependence of the electron-paramagnetic-resonance linewidth of Ag:Dy // Phys. Rev. B. – 1978. – Vol. 18. – P. 3041–3047.

16. Pifer J. H. Magnetic Resonance of Mn^{++} in PbS, PbSe, and PbTe // Phys. Review. – 1967. – Vol. 157. – № 2. – P. 272–276.

17. Ralstone R.W., Walpole J.N., Calawa A.R., Harman T.C., McVittie J.P. High CW output power in striple-geometry PbS diode laser // Journal of Applied Physics. – 1974. – Vol. 45. – № 3. – P. 1323–1325.

18. Yi Zhang, Xuezhi Ke, Kent P.R.C., Jihui Yang, Changfeng Chen. Anomalous Lattice Dynamics near the Ferroelectric Instability in PbTe // Phys. Rev. Lett. – 2011. – Vol. 107. – P. 175503.

References

1. Abragam A., Blini B. Jelektronnyj paramagnitnyj rezonans perehodnyh ionov. M.: Mir, 1972. T.1. 652 p.

2. Bersuker I.B. Jeffekt Jana-Tellera i vibronnye vzaimodejstvija v sovremennoj himii. M.: Nauka, 1987. 344 p.

3. Vihnin V.S. Reorientacionnaja i spin-reshetochnaja relaksacija, obuslovlennaja tunnel'no-kontroliruemym processom // FTT. 1978. T. 20. pp. 1340–1346.

4. Pul Ch.. Tehnika JePR-spektroskopii. M.: Izd. Mir, 1970. 557 p.

5. Trofimov V.T., Abbasov G.Z., Springhol'c G., Baujer G., Zasavickij I.I. Jenergeticheskaja diagramma geteroperehoda Pb1-xMnxTe/PbTe // FTP. 1993. T. 27, vyp. 7. pp. 1158–1164.

6. Bozin E.S., Malliakas C.D., Souvatzis P., Proffen T., Spaldin N.A., Kanatzidis M.G., Billinge S.J.L. Entropically stabilized local dipole formation in lead chalcogenides // Science. 2010. Vol. 330. pp. 1660–1663.

7. Bukała M., Sankowski P., Buczko R., Kacman P. Structural and electronic properties of Pb1−xCdxTe and Pb1−xMnxTe ternary alloys // Phys. Rev. B. 2012. Vol. 86. pp. 085205.

8. Chu J., Sher A. Physics and properties of narrow gap semiconductors // Shpringer Science + Business Media, LLC. 2008. 605 p.

9. Gisbergen S.J.C., Godlewski M., Gregorkiewicz T., Ammerlan C.A.J. Magnetic-resonance studies of interstitial Mn in GaP and GaAs // Phys. Rev. B. 1991. Vol. 44. no. 7. pp. 3012–3019.

10. Hicks L.D., Harman T.C., Sun X., Dresselhauss M.S. // Phys. Rev. B. 1996. Vol. 53. pp. R10493.

11. Jensen K.M.O., Bozin E.S., Malliakas C.D., Stone M.B., Lumsden M.D., Kanatzidis M.G., Shapiro S.M., Billinge S.J.L. Lattice dynamics reveals a local symmetry breaking in the emergent dipole phase of PbTe // Phys. Rev. B. 2012. Vol. 86. pp. 085313.

12. Lee K.P., Walsh D. Theory of tunneling assisted electron-spin-lattice relaxation // Canadian Journal of Physics. 1971. Vol. 49. pp. 1620–1629.

13. Mahendra A., Sanyal S.P. Effect of doping on dynamical properties of diluted magnetic semiconductors // Indian Journal of Pure and Applied Physics. June 2004. Vol. 42. no. 6. pp. 440–444 (2004).

14. Nistor S.V. Properties of artificially grown single crystals of galena // Journal of materials science. 1983. Vol. 18. pp. 1625–1628.

15. Oseroff S.B., Calvo R. Anisotropy and field dependence of the electron-paramagnetic-resonance linewidth of Ag:Dy // Phys. Rev. B. 1978. Vol. 18. pp. 3041–3047.

16. Pifer J. H. Magnetic Resonance of Mn++ in PbS, PbSe, and PbTe // Phys. Review. 1967. Vol. 157. no. 2. pp. 272–276.

17. Ralstone R.W., Walpole J.N., Calawa A.R., Harman T.C., McVittie J.P. High CW output power in striple-geometry PbS diode laser // Journal of Applied Physics. 1974. Vol. 45. no. 3. pp. 1323–1325.

18. Yi Zhang, Xuezhi Ke, Kent P.R.C., Jihui Yang, Changfeng Chen. Anomalous Lattice Dynamics near the Ferroelectric Instability in PbTe // Phys. Rev. Lett. 2011. V ol. 107. pp. 175503.

Рецензенты:

Еремина Р.М., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики Института физики, ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань;

Жихарев В.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 548.536.537226.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ШИРОКОЗОННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАМКАХ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГРИНА И ФОРМУЛ ТИПА КУБО – ГРИНВУДА

[1]Казаров Б.А., [2]Митюгова О.А., [2]Алтухов В.И.

[1]Кавминводский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Георгиевск, e-mail: kazarovbeniamin@mail.ru;

[2]Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск

В работе анализируются подходы и методы описания наноструктурированных систем широкозонных материалов (A^2B^6, ТГС, SiC, нитриды (GaN), SiC-AlN, SiC-BeO и гетероструктуры на их основе). Рассмотрены возможности метода динамических функций Грина (МДФГ), формул типа Кубо – Гринвуда применительно к локализации носителей Андерсона, фазовым переходам Мотта, к размерным и мезоскопическим эффектам: гигантское тепловое сопротивление (A^2B^6), гигантское усиление диэлектрической проницаемости (SiC-AlN), флуктуационный эффект биений – интерференция различных механизмов (каналов) рассеяния фононов (ТГС), немонотонная зависимость проводимости от состава x (SiC-AlN, SiC-BeO) и др. На основе формул Кубо – Гринвуда в работе продемонстрированы результаты моделирования (описания) свойств широкозонных наноструктурированных материалов, их твердых растворов с нанокластерами и дефектами (ТГС). Показано, что наноструктурированные материалы чувствительны к симметрии структуры (политипы – более 200 видов в SiC), к микроскопическому строению дефектов структуры и нанокластеров (A^2B^6, ТГС); они обладают свойствами, сильно зависящими от размерностей системы; анизотропией процессов, протекающих в слоях, гетероструктурах, пленках.

Ключевые слова: широкозонные материалы, твердые растворы, гетероструктуры, пленки, функции Грина, теплопроводность, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, мезоскопические эффекты

MODELING THE PROPERTIES OF WIDE BANDGAP NANOSTRUCTURED MATERIALS WITHIN METHODS OF DYNAMIC GREEN'S FUNCTIONS AND FORMULAS OF TYPE KUBO-GREENWOOD

[1]Kazarov B.A., [2]Mityugova O.A., [2]Altukhov V.I.

[1]Kavminvodsky Institute (branch) «South-Russian State Technical University (NPI) of M.I. Platov», Georgiyevsk, e-mail: kazarovbeniamin@mail.ru;

[2]Institute of service, tourism and design (branch) «North Caucasus Federal University», Pyatigorsk

The paper analyzes the approaches and methods to describe nanostructured materials wideband systems (A^2B^6, TGS, SiC, nitrides (GaN), SiC-AlN, SiC-BeO and heterostructures based on them). The possibilities of the method of dynamic Green's functions (MDFG), formulas such as Kubo-Greenwood in relation to carrier localization Anderson, Mott phase transitions, and to dimensional mesoscopic effects: a giant thermal resistance (A^2B^6), giant amplification of the dielectric constant (SiC-AlN), the fluctuation effect beats – a combination of different mechanisms (channels) phonon scattering (TGS), a non-monotonic dependence of the conductivity on the composition x (SiC-AlN, SiC-BeO), and others. On the basis of formulas Kubo-Greenwood in the simulation results demonstrated (description) properties of nanostructured materials wideband and their solid solutions with nanoclusters and defects (TGS). It is shown that nanostructured materials are sensitive to symmetry structure (polytypes -more than 200 species in SiC), to the microscopic structure of structural defects and nanoclusters (A^2B^6, TGS); they have properties that are heavily dependent on the dimensions of the system; anisotropy of the processes occurring in the layers, heterostructures films.

Keywords: wide-materials, solid solutions, heterostructures, film, Green's function, thermal conductivity, electrical conductivity, permittivity, and mesoscopic effects

На современном этапе развития теории кинетических явлений и других свойств наноструктурированных материалов можно выделить две тенденции. С одной стороны, резко усиливается интерес к так называемым экзотическим ситуациям, мезоскопическим и размерным системам [3,4], в которых кинетическое уравнение частично или полностью неприменимо и требуется существенный квантовый подход с позиций мезонанофизики. В частности, неослабевающий интерес вызывают системы низкой размерности с различными типами локализации носителей (гетероструктуры SiC и слои), несоразмерные системы (сегнетоэлектрики), широкозонные полупроводники (A^2B^6, SiC, SiC-AlN) [1, 2, 5], гетероструктуры, слои, пленки для силовой

электроники [5–8]. Во многих случаях описание таких систем связано с фундаментальными трудностями, вследствие чего часто отсутствует не только количественная, но даже качественная картина явлений. С другой стороны, по-прежнему актуальной остается задача количественного описания кинетических и других свойств в реальных широкозонных кристаллах, материалах и твердых растворах, в том числе на основе карбида кремния. Использование здесь преимуществ метода динамических функций Грина и компьютерного моделирования позволяет надеяться на успешное решение задачи на микроскопическом уровне.

Указанные выше два подхода в развитии современной теории кинетических и других свойств кристаллов определили содержание настоящей работы. Очевидно, что, находясь на «стыке» таких важных областей, как физика фазовых переходов и мезофизика, изучение явлений фононного и электронного переноса в реальных широкозонных кристаллах с нанокластерами, дефектами и (или) фазовыми переходами оказывается крайне востребованным.

Решение возникающих здесь вопросов требует более эффективного подхода, позволяющего учесть роль микроскопических деталей структуры, уменьшить число используемых малых параметров системы, отказаться от использования или расширить область применимости кинетического уравнения. В качестве такого подхода наиболее эффективным и универсальным является метод динамических функций Грина (МДФГ) и Кубо – Гринвуда [1, 2]. В частности, МДФГ дает возможность получить точные для гармонической модели кристалла, замкнутые выражения типа Кубо – Гринвуда, связывавшие коэффициенты теплопроводности и проводимости с динамическими функциями Грина системы. Тем самым вычисление неравновесных свойств кристаллов и твердых растворов сводится к задаче определения параметров системы в состоянии статистического равновесия и открывается возможность широкого использования методов функций Грина и, как следствие, количественного анализа свойств систем на микроскопическом уровне.

Ранее метод МДФГ не был приспособлен даже для случая изменения сил связи на примесном атоме. Он не был разработан и для более общих ситуаций, когда важны эффекты биений, многочастичные корреляции, флуктуации параметра порядка, гигантское усиление или подавление кинетических характеристик мезосистем. Подчеркнем, что развитие МДФГ в указанных направлениях делает его эффективным средством исследования широкого круга проблем, в том числе количественного анализа особенностей свойств в наноструктурированных широкозонных материалах и в частности на основе карбида кремния [3, 4].

1. Элементы теории линейной реакции квантовомеханической системы на внешнее возмущение (формулы Кубо)

Остановимся здесь коротко на общем квантовом подходе описания систем в термодинамике неравновесных процессов.

1.1. Двухвременные функции Грина квантовых систем. **Применение формул типа Кубо – Гринвуда.** Как было показано выше, наиболее эффективным и наглядным способом исследования кинетических свойств широкозонных полупроводников на микроскопическом уровне в настоящее время является метод динамических двухвременных функций Грина (ФГ), компоненты Фурье которых по определению имеют вид [3, 4]

$$G_{AB}(\omega) = \omega\left\langle\left\langle A \mid B\right\rangle\right\rangle_{\omega} = \\ = \left\langle [A,B]_{\eta}\right\rangle - \left\langle\left\langle A \mid [B,H]\right\rangle\right\rangle_{\omega}. \quad (1)$$

Двухвременные функции Грина (1), являясь удобным обобщением временных корреляционных функций, естественным образом возникают при рассмотрении реакции термодинамической системы на внешнее возмущение. Ввиду важности для конкретных задач формул типа Кубо – Гринвуда и МДФГ остановимся кратко, но с необходимыми ссылками на соответствующую литературу на методике их получения в квантовой теории линейной реакции системы на внешнее возмущение.

1.2. Проводимость широкозонных полупроводников и мезоскопических систем. В частном случае, когда к системе приложено внешнее электрическое поле $E(t)$, возмущение имеет вид [1, 3]

$$H'_t = -PE(t);$$

$$P = \sum_s r_s e_s,$$

где r_s – радиус-вектор s – частицы с зарядом e_s. Если оператор тока $I = A$, то для среднего тока $\overline{I}(t)$ в электрическом поле $E(t)$ получаем

$$\overline{I}_{\alpha}(t) = -\sum_{\beta}\int_0^t dt'\int_0^{\beta} d\lambda < I_{\alpha}; \\ \dot{P}_{\beta}(t' - i\lambda) > E_{\beta}(t'). \quad (2)$$

Поскольку производная от поляризации $\dot{P} = (d/dt)P = I$, то для проводимости системы, в частном случае стационарного возмущения, находим

$$\sigma_{\alpha\beta}(T) = \frac{1}{V}\int_0^\infty e^{-\varepsilon t}dt\int_0^\beta \left\langle I_\alpha(-i\hbar\lambda)I_\beta(t)\right\rangle d\lambda. \quad (3)$$

Здесь адиабатическое включение предполагает предел при $\varepsilon \to 0^+$, $\beta = 1/k_Б T$, $k_Б$ – постоянная Больцмана.

В частности, для широкозонных полупроводников и мезоскопических систем с относительно малой подвижностью носителей с учетом конкретного гамильтониана, для проводимости $\sigma(T)$ согласно формуле Кубо – Гринвуда (3) получаем интеграл по энергиям ε с плотностью состояний $g(\varepsilon)$ [2,3]:

$$\sigma^i_{\alpha\beta}(T) = 2e^2\int_0^\infty\left(-\frac{\partial f_i}{\partial\varepsilon}\right)\upsilon^i_\alpha(\varepsilon)\times \times\upsilon^i_\beta(\varepsilon)\tau^i_{\alpha\beta}(\varepsilon, q_i^F)g_i(\varepsilon)d\varepsilon; \quad (4)$$

$$\hbar\upsilon^i_\alpha(\varepsilon) = \frac{\partial\varepsilon}{\partial k^i_\alpha};$$

$$f_i(x) = [\exp(x - j_i) - 1]^{-1}, \quad (4')$$

где $x = \dfrac{\varepsilon}{k_Б T}$; $j_i = j - \Delta x_i$; $\Delta x_i = \dfrac{\Delta\varepsilon_i}{k_Б T}$; $j = \dfrac{\zeta}{k_Б T}$; $q_i^F = \dfrac{k_i^F}{\sqrt{M_{\alpha i}}}$;, ς и k_i^F – химический потенциал и импульс Ферми, $g_i(\varepsilon)$ и $M_{\alpha i}$ – плотность состояний и эффективная масса плотности состояний в i-й долине спектра; $\Delta\varepsilon_i$ – сдвиг дна зоны проводимости, обусловленный в данном случае спонтанной деформацией и поляризацией; $k_Б$ – коэффициент Больцмана; $f_i(x)$ – известная функция Ферми. Формулы (4) и (4′) будут использованы ниже при анализе (расчетах) особенностей поведения проводимости SiC и твердых растворов на его основе.

1.3. Диффузия систем с дефектами и нанокластерами. В случае наличия в системе градиента плотности или концентрации компоненты $\nabla_z c_i$ в направлении z, диффузный поток $I_{zi} = -D_i\nabla_z c_1$ обусловлен возмущением [1]:

$$H_i = -\sum_{l_s} z_{ls}F_i;$$

$$F_i = \xi_i\upsilon,$$

где сила F_i связана со средней скоростью υ, а коэффициент трения ξ_i согласно соотношению Эйнштейна связан с коэффициентом диффузии:

$$D_i = \frac{k_Б T}{\xi_i}.$$

В итоге, определяя среднюю скорость переноса массы вещества, для коэффициента диффузии D_i получаем

$$D_i(T) = k_Б T\int_0^\infty d\tau\int_0^\beta d\lambda\left\langle I_z(-i\hbar\lambda)I_z(\tau)\right\rangle, \quad (5)$$

где $k_Б$ – постоянная Больцмана и $\beta = \dfrac{1}{k_Б T}$.

1.4. Теплопроводность систем с дефектами и нанокластерами. При термическом возмущении, обусловленном наличием отклонений от температуры $\nabla_\alpha T$, в системе возникает поток тепла Q_α за счет движущей «внешней» силы $X_\alpha = \nabla_\alpha\beta$. Согласно теории линейной реакции для коэффициента теплопроводности $k_{\alpha\beta} = L_{\alpha\beta}$ в данном случае получаем [1–3]

$$k_{\alpha\beta}(T) = \frac{1}{V\beta}\int_0^\infty e^{-\varepsilon t}dt\int_0^\beta d\lambda\left\langle Q_\alpha(0)Q_\beta(t + i\lambda)\right\rangle. \quad (6)$$

В [1, 2] показано, что для гармонического кубического кристалла с дефектами (примесями, нанокластерами) справедливо точное соотношение (обозначения см. в [1, 2]):

$$k_{\alpha\beta}(T) = \frac{1}{3}\delta_{\alpha\beta}\lambda(T) = \frac{\delta_{\alpha\beta}}{6\pi V}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\hbar^2\omega^2}{k_Б T^2}n(\omega)\left[n(\omega) + 1\right]Sp\left|\Pi(\omega)\right|^2 d\omega, \quad (7)$$

где

$$\Pi^\rho(ee'_i\omega) = \sum_{e''}Q^\rho(ee'')\operatorname{Im}G(e''e'_i\omega);$$

$$\operatorname{Im}G(ee'_i\omega) = \pi\sum_j\psi(e_i j)\psi^*(e'_{ij})\delta(\omega_j^2 - \omega^2). \quad (7')$$

Формулы (7), (7′) использованы ниже при анализе поведения гигантского теплового сопротивления в A^2B^6 с дефектами и Ян-теллеровским фазовым переходом при T_C = 14,5°K [5, 11].

1.5. Диэлектрическая восприимчивость широкозонных полупроводников, керамики и мезоскопических систем. Однофононная функция Грина, описывая реакцию мезоскопической системы на действие внешнего зависящего от времени поля, определяет и ее динамическую восприимчивость. При этом часто можно использовать приближение, когда в массовом операторе $M_{\lambda\lambda'}$ не учитывается изменение поляризации и $\lambda = \lambda'$. В этом случае ФГ диагональна по индексу λ и определяет динамическую восприимчивость системы $\chi_\lambda(q, \omega)$ при воздействии внешнего поля с частотой ω и волновым вектором q:

$$\chi_\lambda(q,\omega) = -D_{\lambda\lambda}(q,\omega) = \\ = [\omega_{\lambda q}^2 + M_\lambda(q,\omega) - \omega^2]^{-1}. \quad (8)$$

Спектральная плотность возбуждений для ветви λ и волнового вектора q связана с мнимой частью восприимчивости (ε = 1 + χ – проницаемость):

$$\chi''(q,\omega) = -\operatorname{Im} D_{\lambda\lambda}(q,\omega + i\delta) = \frac{\pi\rho_\lambda}{\omega^2} = \\ = \frac{\omega\Gamma_\lambda(q,\omega)}{[\omega_{\lambda q}^2 - \Delta_{\lambda q}^2(\omega) - \omega^2]^2 + \omega^2\Gamma_\lambda^2(q,\omega)}. \quad (9)$$

Здесь вещественная и мнимая части массового оператора

$$\Delta_\lambda^2(q,\omega) = -\operatorname{Re} M_\lambda(q,\omega); \\ \Gamma_\lambda(q,\omega) = -\operatorname{Im} M_\lambda(q,\omega + i\delta) \quad (10)$$

определяют перенормировку частоты и затухания возбуждений решётки соответственно.

2. Модели и расчеты кинетических явлений и характеристик широкозонных полупроводников и наноструктурированных материалов: эффекты мезоскопики

Ниже приведены результаты применения методов динамических функций Грина и формул типа Кубо – Гривуда к анализу поведения и моделированию свойств ряда конкретных полупроводниковых наноструктурированных материалов.

2.1. Модели температурной и концентрационной зависимостей электрической проводимости твердых растворов и проницаемости ε(ω) керамики на основе SiC (локализация, переход Мотта, гигантское усиление ε(ω))

Учитывая (4), (4′), по аналогии с формулой для теплопроводности получаем [3]

$$\sigma(\varepsilon) = \frac{\pi e^2 \hbar^2}{m} < |D_\varepsilon|^2 > N(\varepsilon), \quad (11)$$

где $N(\varepsilon)$ и D_ε – соответственно, плотность состояний и матричный элемент волнового вектора ($\hbar k = m\upsilon$); <…> – усреднение по всем состояниям с волновыми функциями Ψ_l, $\Psi_{l'}$, соответствующими энергии перехода ε.

При достаточно низких температурах, согласно (4), (11), в системе с большим количеством примесей типа SiC может иметь место андерсоновская локализация и проводимость будет изменяться по правилу [3]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{-\Delta E}{2k_Б T}\right). \quad (11')$$

При еще более низких температурах может наблюдаться переход Мотта и для $\sigma(T)$ имеет место закон [3]

$$\ln\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \approx \left(\frac{\varepsilon_a}{T}\right)^{1/4}. \quad (12)$$

По данным экспериментов [9, 10] в работе были построены логарифмические немонотонные зависимости проводимости (ln σ) от концентрации (состава) x при различных значениях температуры ($10^4/T$) для твердых растворов карбида кремния $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ и $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$.

В случае андерсоновской локализации согласно (11′) [2] на кривой $\ln(\sigma_x)T = \frac{C_0 + C(x - x_0)^\beta}{k_Б T}$ как функции состава x при $x \to x_0$ может наблюдаться точка перегиба при $x = x_0$ ($y_1 \approx -\frac{17}{3} + \frac{160}{3}(x - x_0)^3$, рис. 1 (кривая 2)). При этом для показателя степени β ранее были получены разные значения (1,5; 1,8; 2,0). Если функцию $\ln \sigma_x(T) = y$ представить в виде ряда по степеням $a_n x^n$, то при $n = 3$ и незначительных изменениях коэффициентов a_n $\left(y_2 = 1 - 40x + 90x^2 - 60x^3\right)$ получается зависимость $y(x)$ с минимумом слева и максимумом справа от точки $x = x_0$ соответственно (рис. 1 (кривая 4)). Такого типа особенности в $\sigma_x(T)$ могут наблюдаться в некоторых твердых растворах $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ при $x = x_0$.

Полученные в ходе исследования данные в соответствующих областях подвергались обработке методом наименьших квадратов (рис. 1 (кривая 3)). Аналогичные зависимости также наблюдаются в твердых растворах SiC-BeO при $x = x_0$ (рис. 2).

На рис. 1 $y_1 = \frac{-17}{3} - \frac{160}{3} \cdot (x_1 - x_0)^3$; 3 – кривая, построенная методом наименьших квадратов по экспериментальным данным (кривая 1); 4 – кривая $y_2 = 1 - 40x_1 + 90x^2 - 60x_1^3$. На рис. 2 $y_1 = -2 - 648 \cdot 10^3 \cdot \left(x_1 - \frac{1}{60}\right)^3$; 3 – кривая, построенная методом наименьших квадратов по экспериментальным данным (кривая 1); 4 – кривая $y_2 = 1 - 870x_1 + 622x^2 - 124 \cdot 10^4 \cdot x_1^3$.

Таким образом, в работе построена модель для расчета немонотонной температурной зависимости электропроводимости в твердых растворах карбида кремния $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$, $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$ при различных концентрациях на основе формулы Кубо –Гринвуда. Построены логарифмические зависимости проводимости ($\ln(\sigma)$) от концентрации x при различных значениях температуры ($10^4/T$) для твердых растворов карбида кремния $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ и $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$, которые согласуются с данными соответствующих экспериментов. Рассмотрены переход Мотта и андерсоновская локализация в твердых растворах карбида кремния $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ и $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$. Построены концентрационные немонотонные зависимости проводимости $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$, $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$ при $x = x_0$ с использованием метода наименьших квадратов.

2.2. Гигантское тепловое сопротивление широкозонных полупроводников A^2B^6. В случае кубического кристалла выражение (7) несколько упрощается, а функции Грина $D(\omega)$ в случае хаотически распределенных примесей можно по методу Т-матрицы рассеяния вычислить аналитически. Тогда

$$K(T) = \frac{1}{6\pi k_Б} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\hbar^2\omega^2}{T^2\Omega} n(\omega)[n(\omega)+1] Sp\left|\Pi(\omega)\right|^2 d\omega. \quad (13)$$

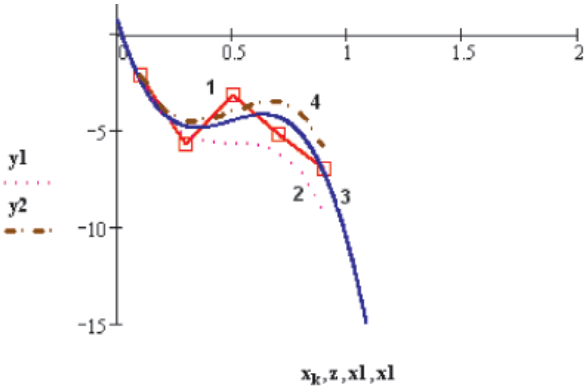


Рис. 1. Зависимость проводимости $\sigma_x(T)$ твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ от x: 1 – экспериментальная кривая [9, 10]; 2 – расчет

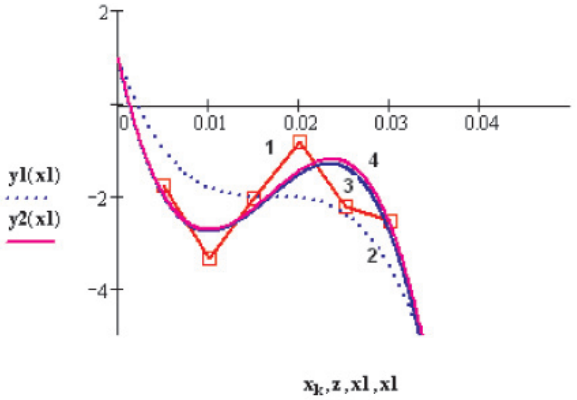


Рис. 2. Зависимость проводимости $\sigma_x(T)$ твердых растворов SiC-BeO от x: 1 – экспериментальная кривая [9, 10]; 2 – расчет

Эта формула связывает решеточную теплопроводность $K(T)$ с динамической функцией Грина реального кристалла $D_{ik}(\omega)$ и справедлива для любой фиксированной конфигурации примесей, она не зависит и от конкретной микроскопической модели дефекта.

При этом в дебаевской модели кристалла с плотностью квадратов частот $\rho(\omega^2) = \frac{3\omega}{\omega_d^2}$, но со временем релаксации $\tau(\omega)$, учитывающим микроскопическое строение дефектов, примесей и нанокластеров, теплопроводности широкозонных полупроводников $K(T)$ согласно (3), (7), (7′) можно представить в виде [1–3]

$$K(T) = \frac{1}{2\pi^2 v}\int_0^{\omega_d} \hbar\omega^3 \tau(\omega) \cdot \frac{\frac{\hbar\omega}{k_b T} e^{\frac{\hbar\omega}{k_b T}}}{\left(e^{\frac{\hbar\omega}{k_b T}} - 1\right)^2} d\omega. \quad (14)$$

Для объяснения поведения и расчета низкотемпературной теплопроводности кристаллов ZnSe:Ni предлагается использовать как сечение резонансного рассеяния фононов на двухуровневых примесях (ионах Ni^{2+} с резонансной энергией между уровнями в несколько (3–5) мВ), так и сечения аномального затухания фононов около температуры структурной нестабильности $T_C = 14{,}5$ К решетки ZnSe с ионами никеля. Одновременный учет этих механизмов рассеяния фононов позволяет объяснить наблюдаемый весьма широкий ($\Delta T \approx 35$ К) и глубокий, $K_0/K_x \approx 200$ (гигантский), провал на кривой $K(T)$ ZnSe:Ni.

Таким образом, показано, что расчет температурной зависимости в модели Дебая при должном моделировании процессов рассеяния фононов на примесях, нанокластерах и с учетом наличия в системе фазового перехода, а также при оптимальном подборе параметров для нескольких образцов кристаллов ZnSe:Ni обеспечивает надежное согласие результатов расчета с экспериментом. Результаты расчетов для различных концентраций никеля сопоставляются с данными соответствующих экспериментов (рис. 3) по гигантскому тепловому сопротивлению в A^2B^6.

С использованием (14) в работе также проведены расчеты зависимости $K(T)$ для кристаллов ТГС и показано [5], что нетипичное поведение кривой $K(T)$ около T_c в кристаллах ТГС связано с крайне узким интервалом температур, в котором проявляются критические флуктуации в одноосных кристаллах (рис. 4).

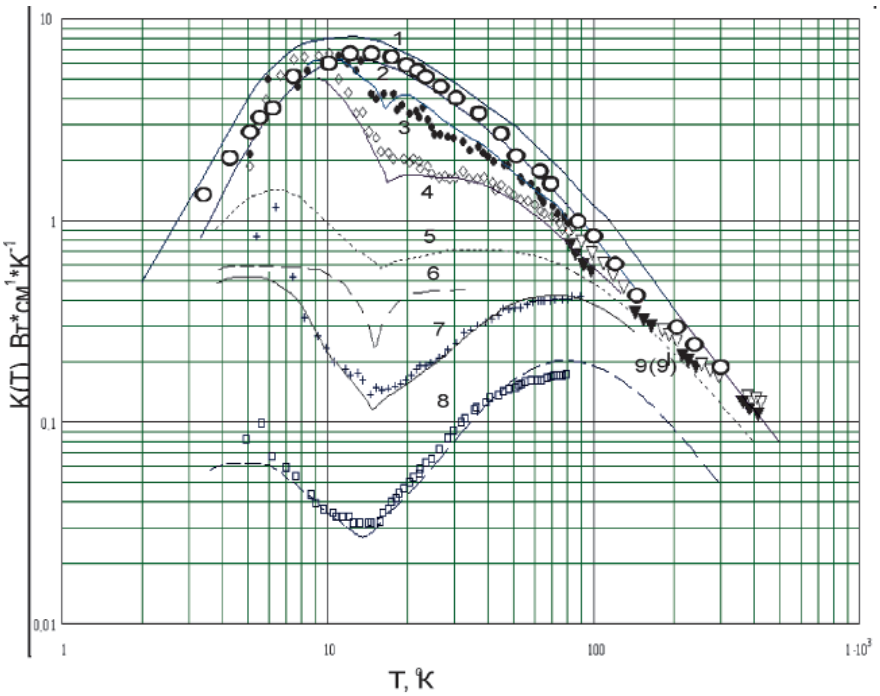


Рис. 3. Температурная зависимость теплопроводности кристаллов ZnSe. Эксперимент [11]: (сверху вниз) 1, 2 (○; ●) – «чистый» ZnSe; 3, 7, 8 – образцы ZnSe:Ni с различной концентрацией никеля: 3 (◊) – c_0 = 0,00043 (10^{21} см$^{-3}$), 7 (+) – 0,036, 8 (▫) – 0,10

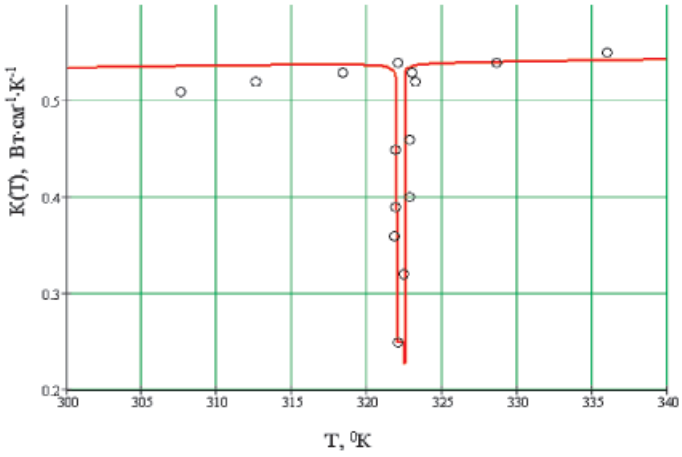


Рис. 4. Температурное поведение теплопроводности высококачественных кристаллов ТГС около T_c = 322°K в направлении [1, 12]

Таким образом, в ситуации, когда критические флуктуации (как в одноосном кристалле ТГС) относительно подавлены, а роль отдельных механизмов релаксации фононов при достаточно сильном ангармонизме ($T > \theta$) нивелирована («осреднена»), влияние критического рассеяния фононов около T_c резко выражено. В этом случае в узкой области ΔT_K, возможно, реализуется особое неравновесное (метастабильное или типа «спиновое стекло») состояние системы. При этом аномальное поведение теплопроводности вблизи T_c может оказаться весьма ярким – в крайне узком интервале температур ΔT_K появляется глубокий минимум (провал: рис. 4).

2.3. Модель эффекта гигантского усиления диэлектрической проницаемости в керамике на основе карбида кремния. В случае расчета диэлектрической проницаемости в керамике при вычислении соответствующих функций Грина приходится делать ряд предположений о форме и геометрии электромагнитного осциллятора, о его поляризационных характеристиках для сферической или эллипсоидальной форм. Если допустить, что включения (нановключения) молекул и комплексов *AlN* в матрице *SiC* по своим поляризационным характеристикам обладают сфероидальной (или эллипсоидальной) формой, то за исходную теоретическую предпосылку можно взять подход Максвелла – Гарнетта [3], объясняющий усиление $\varepsilon(\omega)$ в матричных средах, содержащих включения сфероидальной (или эллипсоидальной) формы с отличающимся от единицы аспектным отношением $\xi = c/a$ ($a = b \neq c$ – полуоси сфероида).

В простейшем случае выражение для $\varepsilon(\omega)$ можно получить путем замены в формуле Максвелла – Гарнетта для сферических включений фактора деполяризации сферы, равного 1/3, на фактор деполяризации сфероида $0 < A_c(\xi) < 2$, отвечающего заданной ориентации поля вдоль оси c и зависящего от аспектного отношения ξ сфероида. Тогда в случае твердого раствора для ДП $\varepsilon(\omega)$ в направлении оси c получаем [5]

$$\varepsilon = \varepsilon_m \left[1 + \frac{\eta}{(1-\eta)A_c + \varepsilon_m / (\varepsilon_i - \varepsilon_m)} \right]. \quad (15)$$

Результаты расчетов диэлектрической проницаемости сопоставляются с данными соответствующих экспериментов на рис. 5.

На рис. 5 для различных значений частоты ($\Gamma_m = \frac{\gamma_m}{\omega}$ и $\Gamma_i = 0$) электрического поля ω: 1 – Γ_m = 100; 2 – 200; 3 – 420; 4 – 750; 5 – 10^4; A_c = 1,70; $\varepsilon'_m = 250$, $\varepsilon'_i = 75$. Сплошные линии – расчет; точки – эксперимент при значениях частоты: ω = 1 МГц; 10; 0,5 и 0,1 кГц

Обсуждение результатов и выводы

Разработанные выше модели (выражения и формулы п. 1.1–1.5)) использованы для описания свойств наноструктурированных материалов (рис. 1–5, п. 2.1–2.3). Эти свойства оказываются уникальными и определяют важную роль широкозонных полупроводников и наноструктурированных материалов в развитии элементной базы силовой электроники нового поколения [6–8]. В частности, характерные свойства *SiC* позволяют улучшить практически все (частотные, мощностные, прочностные) характеристики элементов (устройств) и приборов силовой электроники, оптоэлектроники и микросистемной техники.

При наличии структурного фазового превращения в этих системах рассеяние фононов на частоте мягкой моды играет доминирующую роль и определяет характер аномального поведения теплового сопротивления около T_c в A^2B^6, ТГС и SiC. В работе построена модель переноса тепла (теплопроводности $K(T)$), проведены расчеты и дана интерпретация эффекта гигантского (на два порядка – 10^2) увеличения теплового сопротивления в кристаллах ZnSe:Ni.

Полученные формулы (выражения) использованы для расчетов температурной зависимости теплопроводности сегнетоэлектрических кристаллов триглицинсульфата (ТГС). Показано, что аномальное поведение кривой теплопроводности К(Т) около температуры структурного фазового перехода $T_c = 322°K$ при относительно высоких значениях температур обусловлено осреднением фононных времен релаксации (флуктуационный эффект биений). При этом критическое упругое и неупругое рассеяние фононов проявляется около T_c в виде резко выраженного узкого минимума. Результаты расчетов согласуются с данными соответствующих экспериментов.

параметры времен релаксации фононов и определены последовательные стадии дефектообразования, реализующиеся по мере легирования соединений типа A^2B^6, кристаллов карбида кремния (SiC) и его политипов. Модель проводимости, развитая на основе формулы Кубо – Гринвуда для твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$, $(SiC)_{1-x}(BeO)_x$ позволила рассчитать логарифмические зависимости проводимости этих растворов ($\ln\sigma_x(T)$) от концентрации x (состава) при различных значениях $10^4/T$. Выявлены особенности поведения $\sigma_x(T)$ от состава x в твердых растворах карбида кремния:

а) обусловленные андерсоновской локализацией носителей – немонотонная зависимость $\sigma_x(T)$ от состава x;

б) особенность, связанная с наличием перехода Мотта изолятор – металл – типичные зависимости $\ln(\sigma/\sigma_0)$ вида $\left(\frac{\varepsilon_a}{T}\right)^{1/4}$.

Результаты расчетов гигантского усиления диэлектрической проницаемости на низких частотах согласуются с данными экспериментов.

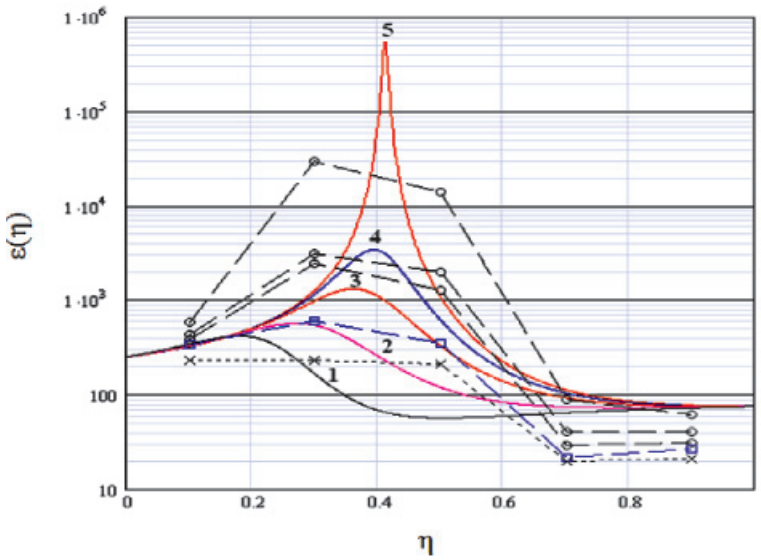


Рис. 5. Концентрационная зависимость диэлектрической проницаемости [10] керамики SiC-AlN с гигантским (на 102) усилением ε(ω) на малых частотах

Предложенные модели механизмов рассеяния фононов на дефектах, нанокластерах и около T_c [2, 5] использованы для описания особенностей температурного поведения гигантского теплового сопротивления A^2B^6, теплопроводности SiC и проводимости $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$. Подобраны

Таким образом, в работе продемонстрировано применение МДФГ и формул типа Кубо – Гринвуда для моделирования и описания свойств (теплопроводности, проводимости, диэлектрической проницаемости и др.) широкозонных полупроводников и наноструктурированных материалов, в том

числе на основе SiC. В рамках сформулированного подхода предложены модели, проведены расчеты и дана интерпретация ряда аномальных эффектов в широкозонных материалах силовой электроники. Результаты расчетов свойств и мезоскопических эффектов в широкозонных полупроводниках и наноструктурированных материалах конкретных систем позволяют надеяться, что подход МДФГ и формул типа Кубо – Гринвуда применим для описания широкого спектра свойств в наноструктурированных и мезоскопических материалах.

Список литературы

1. Алтухов В.И. Симметрия и структурные фазовые переходы в кристаллах. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. – 96 с.

2. Алтухов В.И.. Основы теории кинетических свойств кристаллов с дефектами и фазовыми переходами: диэлектрики и сегнетоэлектрики. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. – 188 с.

3. Алтухов В.И., Казаров Б.А., Санкин А.В. Функциональные материалы наноэлектроники – новые свойства и методы их описания: монография. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. – 165 с.

4. Имри Й. Введение в мезоскопическую физику: пер. с англ. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.

5. Казаров Б.А., Алтухов В.И., Баландина Н.В. Моделирование и расчет тепловых, электрических свойств широкозонных полупроводников и диэлектриков (с дефектами, фазовыми переходами и нанокластерами). – Георгиевск: ГТИ (ф) СевКавГТУ, 2008. – 224 с.

6. Лучинин В., Таиров Ю. Карбид кремния – алмазоподобный материал с управляемыми наноструктурно-зависимыми свойствами // Наноиндустрия. – 2010. – № 1. – С. 36–40.

7. Лучинин В., Таиров Ю. Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету // Современная электроника – 2009. – № 7. – С. 12–15.

8. Миллс Г. Карбид кремния для российской промышленности. Компания Cree приходит в Россию // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 8. – С. 4–6.

9. Сафаралиев Г.К., Стриханов М.Н., Каргин Н.И., Билалов Б.А., Шабанов Ш.Ш., Кардашова Г.Д. Керамические материалы на основе SiC: монография. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 200 с.

10. Сафаралиев Г.К., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф., Шабанов Ш.Ш., Пашук Е.Г., Офицерова Н.В., Авров Д.Д, Садыков С.А. Получение и свойства поликристаллических твёрдых растворов SiC – AlN // ФТП. – 1993. –Т. 27, Вып. 3. – С. 402–408.

11. Соколов, В.И. Необычно сильное резонансное изменение низкотемпературной теплопроводности кристаллов ZnSe: Ni, обусловленное рассеянием фононов на индуцированных заряженными примесями ангармонических модах / В.И. Соколов, А.Т. Лончаков // Письма в ЖЭТФ. – 2001. – Вып. 11–12. – Т. 73. – С. 708–711.

12. Струков Б.А., Белов А.А., Соркин Е.Л. Аномалии теплопроводности вблизи точки сегнетоэлектрического фазового перехода второго рода в одноосных сегнетоэлектриках // ФТТ. – 1991. – № 33. – Р. 691.

References

1. Altuhov V.I. Simmetrija i strukturnye fazovye perehody v kristallah. Stavro-pol': SevKavGTU, 2003. 96 p.

2. Altuhov V.I.. Osnovy teorii kineticheskih svojstv kristallov s defektami i fazovymi perehodami: dijelektriki i segnetojelektriki. Stavropol': SevKavGTU, 2003. 188 p.

3. Altuhov V.I., Kazarov B.A., Sankin A.V. Funkcional'nye materialy nanojelektro-niki novye svojstva i metody ih opisanija: monografija. Novocherkassk: JuRGTU (NPI), 2011. 165 p.

4. Imri J. Vvedenie v mezoskopicheskuju fiziku: per. s angl. M.: Fizmatlit, 2004. 304 p.

5. Kazarov B.A., Altuhov V.I., Balandina N.V. Modelirovanie i raschet teplovyh, jelek-tricheskih svojstv shirokozonnyh poluprovodnikov i dijelektrikov (s defektami, fazovymi perehodami i nanoklasterami). Georgievsk: GTI (f) SevKavGTU, 2008. 224 p.

6. Luchinin V., Tairov Ju. Karbid kremnija almazopodobnyj material s upravljaemymi nanostrukturno-zavisimymi svojstvami // Nanoindustrija. 2010. no. 1. pp. 36–40.

7. Luchinin V., Tairov Ju. Otechestvennyj poluprovodnikovyj karbid kremnija: shag k paritetu // Sovremennaja jelektronika 2009. no. 7. S. 12–15.

8. Mills G. Karbid kremnija dlja rossijskoj promyshlennosti. Kompanija Cree prihodit v Rossiju // Jelektronika: nauka, tehnologija, biznes. 2010. no. 8. pp. 4–6.

9. Safaraliev G.K., Strihanov M.N., Kargin N.I., Bilalov B.A., Shabanov Sh.Sh., Kardashova G.D. Keramicheskie materialy na osnove SiC: monografija. M.: NIJaU MIFI, 2011. 200 p.

10. Safaraliev G.K., Tairov Ju.M., Cvetkov V.F., Shabanov Sh.Sh., Pashuk E.G., Oficero-va N.V., Avrov D.D, Sadykov S.A. Poluchenie i svojstva polikristallicheskih tvjordyh rastvorov SiC AlN // FTP. 1993. –T. 27, Vyp. 3. pp. 402–408.

11. Sokolov, V.I. Neobychno sil'noe rezonansnoe izmene¬nie nizkotemperaturnoj teplo-provodnosti kristallov ZnSe: Ni, obuslovlennoe rassejaniem fononov na inducirovannyh zarjazhennymi primesjami angarmonicheskih modah / V.I. Sokolov, A.T. Lonchakov // Pis'ma v ZhJeTF. 2001. Vyp. 11–12. T. 73. pp. 708–711.

12. Strukov B.A., Belov A.A., Sorkin E.L. Anomalii teploprovodnosti vblizi tochki segnetojelektricheskogo fazovogo perehoda vtorogo roda v odnoosnyh segnetojelektrikah // FTT. 1991. no. 33. pp. 691.

Рецензенты:

Янукян Э.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры физико-математических дисциплин, декан инженерного факультета Института сервиса, туризма и дизайна (филиала) СКФУ, г. Пятигорск;

Чернобабов А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры физико-математических дисциплин Института сервиса, туризма и дизайна (филиала) СКФУ, г. Пятигорск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 661.25

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТДУВКИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ИЗ ОТРАБОТАННОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ НЕКОНДЕНСИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗОЙ

Ким П.П., Пастухова Г.В., Чубенко М.Н., Комаров В.А.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, e-mail: lab202@dfngtu.nnov.ru

Приведен анализ концентрирования денитрированной серной кислоты, наиболее эффективные аппараты концентрирования разбавленных растворов серной кислоты и недостатки этих концентраторов, вопросы туманообразования, условия снижения пресыщения газовой фазы парами серной кислоты, превышающие критическое значение при переходе газовой фазы с предыдущей ступени контакта на последующую. В диапазоне концентраций 63–80 % серной кислоты равновесное парциальное давление паров серной кислоты практически равно нулю. Поэтому процесс концентрирования необходимо разбить на две стадии – предварительное укрепление до 76–80 % и затем доукрепление до 91–93 % H_2SO_4 на второй ступени. Выполнено исследование процесса отдувки соединений азота из 70 % серной кислоты, содержащей 0,029–0,032 % N_2O_3 и 0,051–0,054 % HNO_3, на ситчатой тарелке со свободным сечением 5 и 10 % воздухом при температуре 80–170 °C и продолжительности процесса 20–100 мин. Определен коэффициент десорбции. Приведено влияние расхода воздуха и температуры на упаривание серной кислоты.

Ключевые слова: отработанная серная кислота, соединения азота, десорбция, константа десорбции, степень десорбции, концентрирование, неконденсируемая фаза, туман серной кислоты, обезвреживание, парциальное давление

STUDY OF THE PROCESS OF STRIPPING NITROGEN COMPOUNDS FROM SPENT SULPHURIC ACID NONCONDENSABLE GAS PHASE

Kim P.P., Pastukhova G.V., Chubenko M.N., Komarov V.A.

FSBEI HPE «Nizhny Novgorod state technical University n.a. R.E. Alekseev», N. Novgorod, e-mail: lab202@dfngtu.nnov.ru

The analysis of the concentration denitrirovannomu sulfuric acid, the most effective apparatus for concentration of dilute solutions of sulfuric acid and disadvantages of these hubs, questions of mist, conditions reduce satiety gas phase pairs of sulfuric acid in excess of the critical value at the transition of the gas phase from the previous stage of contact for the next. In the concentration range 63–80 % sulfuric acid equilibrium partial vapor pressure of sulfuric acid is practically zero. Therefore, the concentration process should be split into two stages – a preliminary appreciation to 76–80 % and then doreplace to 91–93 % H_2SO_4 at the second stage. Performed study of the process of Stripping nitrogen compounds of 70 % sulfuric acid containing 0,029–0,032 % N_2O_3 and 0,051–0,054 % HNO_3, plate into the net a free cross-section of 5 and 10 % air at a temperature of 80 to 170 °C and the duration of the process 20 to 100 minutes. Determined the coefficient of desorption. Given the influence of air flow rate and temperature on evaporation of sulfuric acid.

Keywords: spent sulphuric acid, nitrogen compounds, desorption, constant desorption, the degree of desorption, concentration, non-condensed phase, the mist of sulfuric acid, neutralization, partial pressure

Концентрирование денитрированной серной кислоты является одной из стадий процесса регенерации отработанной серной кислоты (ОСК). Выпаривание воды из растворов серной кислоты сопровождается образованием сернокислотного тумана и частичного восстановления кислоты органическими соединениями с выделением диоксида серы. Поэтому отходящие газы подвергают очистке перед выбросом в атмосферу.

Для концентрирования разбавленных растворов серной кислоты наиболее эффективными являются аппараты с непосредственным соприкосновением газа и жидкости. По экономичности и простоте аппаратурного оформления другие способы не могут конкурировать с этим методом. Однако метод обладает существенным недостатком – высоким туманообразованием. Обезвреживание отходящих газов от тумана серной кислоты, несмотря на применение громоздких и дорогостоящих электрофильтров, представляет значительные трудности.

Исследование [4, 5] показало, что максимальные значения массовой доли тумана серной кислоты после электрофильтра относятся к частицам со среднегеометрическим диаметром 2,2 и менее 0,6 мкм при работе на природном газе и на мазуте. Соответственно концентрация тумана находится в пределах 0,4–0,6 и 0,8–1,5 г/м^3.

Сложности улавливания мелких частиц тумана серной кислоты предопределяют пути не столько на совершенствование способов и аппаратов очистки отходящих газов, сколько на разработку конструкций концентраторов или условий и методов, предотвращающих образование тумана.

Для ликвидаций условий туманообразования необходимо исключить перенасыщение газовой фазы парами серной кислоты, превышающее критические значения при переходе газовой фазы с предыдущей ступени контакта на последующую. В действующих типах концентраторов при значительной разнице равновесного давления паров серной кислоты в первой и второй ступенях контакта фаз основным методом туманообразования является вторая ступень, где пресыщение паров серной кислоты достигает 40–120 при критическом значении 2,5–4,0. Поэтому во второй ступени контакта фаз происходит интенсивное туманообразование.

В диапазоне концентраций 63–80% серной кислоты равновесное парциальное давление паров серной кислоты практически равно нулю. Поэтому процесс концентрирования надо разбить на две стадии – предварительное укрепление до 76–80% и затем доукрепление до 91–93% H_2SO_4 на второй стадии. Поскольку на вторую стадию поступает кислота с повышенной концентрацией, то существенно меняются условия – увеличивается температура и концентрация кислоты. С уменьшением перепада концентраций и увеличением температуры по камерам резко уменьшается пресыщение газов парами серной кислоты. Так, при вводе на вторую стадию 80%-й кислоты пресыщение парами кислоты снижается во второй камере в среднем до 4,8 при критической величине 2,1; в третьей камере до 9,7 при критическом пресыщении 2,7. Это снижает количество тумана и увеличивает размеры его частиц.

Цель исследования – выполнить исследования по отдувке соединений азота из серной кислоты неконденсируемой фазой в зависимости от свободного сечения тарелки, температуры и продолжительности процесса. Определить константу и степень десорбции соединений азота из серной кислоты и концентрацию упаренной кислоты.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили следующим образом. Термостатированный реактор с ситчатой тарелкой предварительно продували азотом, очищенным от кислорода пирогаллолом А. В реактор заливали 100 мл предварительно подогретой до требуемой температуры кислоты и продували горячим воздухом. После окончания опыта определяли константу и степень десорбции оксидов азота из серной кислоты и концентрацию кислоты.

Результаты исследования и их обсуждение

Практический интерес представляет отдувка соединений азота из ОСК неконденсируемой фазой [2].

Изучена десорбция оксидов азота и азотной кислоты из 70% серной кислоты воздухом при 80–170°С. Определение оптимального расхода воздуха при десорбции соединений азота на колонках с разным свободным сечением проводили с использованием серной кислоты, содержащей 0,03% N_2O_3 и 0,05% HNO_3. Влияние расхода воздуха на степень отдувки соединений азота при 110°С представлено в табл. 1. Свободное сечение тарелки – 5%.

Наличие в нитрозе азотной кислоты резко повышает равновесное парциальное давление оксида азота над раствором [1]. Следовательно, присутствие азотной кислоты должно интенсифицировать процесс отдувки оксида азота. Для выяснения влияния азотной кислоты на показатели десорбции была исследована десорбция оксида азота (III) из кислоты с 70% H_2SO_4 и 0,05–0,5% N_2O_3 при температуре 160°С. Массовую долю азотной кислоты меняли от 0,05 до 1,5%. Расход воздуха составлял 0,32 м³/ч. Результаты опытов подтвердили интенсификацию процесса при наличии в нитрозе даже небольших количеств свободной азотной кислоты.

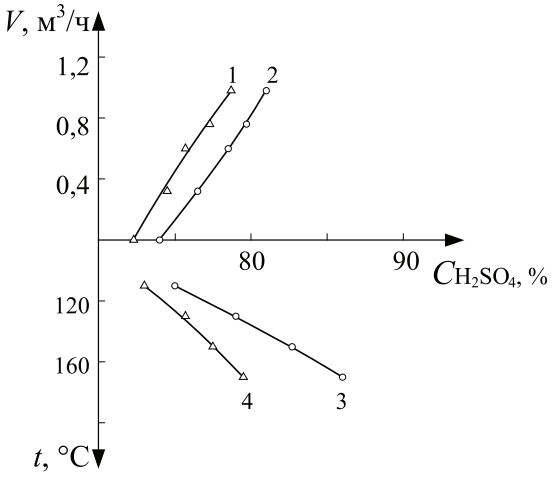
Таблица 1

Влияние расхода воздуха на степень удаления оксида азота (III) и азотной кислоты

Расход воздуха, м³/ч	Степень денитрации (α, %) при продолжительности, мин											
	20		40		60		80		100		120	
	α N_2O_3	α HNO_3	α N_2O_3	α HNO_3	α N_2O_3	α HNO_3	α N_2O_3	α HNO_3	α N_2O_3	α HNO_3	α N_2O_3	α HNO_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	1,9	0,9	4,5	2,7	8,1	4,6	13,5	7,0	18,7	9,2	21,4	11,4
0,20	27,5	6,5	31,3	11,0	35,1	15,1	40,0	18,6	41,2	21,9	43,9	24,5
0,32	34,5	12,5	41,5	16,2	45,2	22,9	47,4	25,4	50,0	29,6	54,8	35,8
0,40	38,8	18,7	44,0	21,4	48,9	26,7	51,1	30,0	54,9	33,3	57,3	38,7
0,58	40,8	21,1	45,9	24,6	50,5	28,9	52,3	31,5	56,2	35,5	59,0	39,8
0,76	41,5	22,6	46,2	26,1	50,8	31,0	52,8	33,0	56,9	36,7	60,5	41,0
0,98	42,0	23,5	46,8	26,5	51,2	32,2	53,0	34,4	57,3	38,1	62,0	41,4

Степень десорбции и константа скорости десорбции в начале опыта существенно возрастают с повышением доли азотной кислоты. По мере протекания процесса ее влияние снижается. Так, при повышении доли азотной кислоты с 0,05 до 1,5 % за 5 минут степень десорбции возрастает в 2,9 раза, а константа скорости десорбции – в 4,5 раза, а за 35 минут эти показатели возрастают соответственно в 1,1 и 2,1 раза.

Опыты показали, что продувка кислоты горячим воздухом в количестве 0,30–0,40 м^3/ч приводит к удалению 38,8–57,3 % N_2O_3 и 18,7–38,7 % HNO_3 за время 20–120 мин. При увеличении количества воздуха до 0,98 м^3/ч степень отгонки соединений азота дополнительно возрастает лишь на 4–12 %. С целью предотвращения возврата оксидов азота с конденсатом в опытах конденсацию паров исключали путем обогрева верхней зоны колонки до 120–130 °С. Вследствие испарения воды серная кислота концентрировалась (рисунок). При 110 °С, продолжительности продувки 1 ч и свободном сечении тарелки 5 % происходит концентрирование кислоты с 72,3 до 78,3 % при увеличении расхода воздуха от 0 до 0,98 м^3/ч, а при 130 °С – с 73,8 до 80,2 %. Увеличение концентрации серной кислоты приводит к снижению равновесного парциального давления оксида азота (III) над нитрозами. Так, при температуре 80°С равновесное парциальное давление оксидов азота над раствором, содержащим 0,03 % N_2O_3 и 71,6 % H_2SO_4, равно примерно 30 Па, тогда как при таком же содержании оксида азота (III) в 76,7 % серной кислоте оно равно примерно 12 Па, а для 82,0 % серной кислоты давление составляет лишь 3 Па. Особенно заметно влияние концентрирования серной кислоты при десорбции соединений азота из серной кислоты при совместном присутствии оксида азота и азотной кислоты. В последующих опытах были установлены следующие расходы воздуха: для колонки со свободным сечением тарелки 10 % – 0,70 м^3/ч, для колонки со свободным сечением 5 % – 0,32 м^3/ч. Для таких расходов воздуха рассчитаны коэффициенты десорбции соединений азота из серной кислоты (табл. 2). При определении коэффициента десорбции количество десорбированного оксида (III) или азотной кислоты отнесены к объему продуваемого воздуха. Данные справедливы для соотношения объема денитрируемой кислоты и продуваемого воздуха 0,156 л/м^3 при свободном сечении тарелки 10 % и 0,107 л/м^3 при сечении 5 %.



Влияние расхода воздуха (V) и температуры (t) на упаривание серной кислоты (CH_2SO_4)

С уменьшением свободного сечения тарелки интенсивность концентрирования серной кислоты возрастает. Это происходит вследствие того, что большая скорость воздуха в свободном сечении тарелки, равном 5 %, способствует интенсивному обновлению поверхности контакта фаз, снижая сопротивление десорбции паров воды в газовой пленке. Этот же эффект наблюдается при увеличении расхода воздуха при постоянной температуре и продолжительности опыта (рисунок).

Полученные коэффициенты десорбции могут быть объяснены следующим образом: при продувке кислоты, содержащей 0,029 % N_2O_3, более высокие коэффициенты десорбции получены на колонке со свободным сечением 10 %, т.к. здесь эффект концентрирования серной кислоты был ниже. Очевидно, меньшие значения коэффициентов десорбции оксидов азота (III) из нитрозной серной кислоты при свободном сечении тарелки в колонке 5 % объясняются меньшей степенью гидролиза НСК при более высокой концентрации серной кислоты [3].

В случае денитрации смеси серной и азотной кислот влияние концентрирования серной кислоты противоположно. При прочих равных условиях увеличение концентрации серной кислоты приводит к возрастанию парциального давления азотной кислоты.

При совместном присутствии оксида азота (III) и свободной азотной кислоты коэффициенты десорбции соединений азота несколько выше при температурах 80–130 °С для колонки со свободным сечением тарелки 5 % по сравнению с колонкой, свободное сечение которой равно 10 %. При высоких температурах (170 °С) десорбция азотной кислоты лучше происходит на колонке с большим свободным сечением тарелки.

Таблица 2

Коэффициенты десорбции соединений азота при продувке воздухом

Температура, °С	Время, мин	Состав исходной кислоты, %		Коэффициент десорбции, 10^7 моль/с×м^3			
				N_2O_3		HNO_3	
				Свободное сечение тарелки, %			
		N_2O_3	HNO_3	10	5	10	5
80	20	0,029	–	7,9	0,8	–	–
	40			3,0	0,4	–	–
	60			1,6	0,4	–	–
	80			1,0	0,3	–	–
	100			0,6	0,3	–	–
170	20	0,029	–	13,0	11,6	–	–
	40			4,6	3,3	–	–
	60			2,4	1,7	–	–
	80			1,5	1,1	–	–
	100			1,0	0,8	–	–
80	20	–	0,054	–	–	43,7	93,7
	40			–	–	14,5	23,6
	60			–	–	7,5	12,0
	80			–	–	4,3	6,8
	100			–	–	2,9	4,3
170	20	–	0,054	–	–	58,2	103,2
	40			–	–	17,5	26,5
	60			–	–	8,2	11,9
	80			–	–	4,4	6,6
	100			–	–	2,9	4,2
80	20	0,032	0,051	1,0	15,1	4,4	9,0
	40			1,0	4,8	1,5	3,5
	60			0,5	2,2	0,8	1,8
	80			0,5	1,4	0,7	1,4
	100			0,4	0,9	0,5	0,9
170	20	0,032	0,051	6,6	16,4	45,0	33,0
	40			2,2	4,2	24,0	9,3
	60			2,0	2,0	5,0	4,5
	80			1,3	1,2	2,9	2,9
	100			0,6	0,4	1,3	1,4

Все последующие опыты с продувкой воздухом проводили на колонке со свободным сечением тарелки 5 % при расходе воздуха 0,32 м^3/ч.

С ростом температуры в пределах 80–170 °С степень денитрации оксида азота (III) из нитрозной серной кислоты, содержащей 0,029 % N_2O_3, продувкой воздухом увеличивается примерно в 35 раз при продолжительности опыта 20 мин (с 0,6 до 20,8 %) и в 4 раза при продолжительности продувки 120 мин (с 14,9 до 56,4 %). При 170 °С и продолжительности отдувки 120 мин в газовую фазу переходит не более 56,4 % оксида азота (III), остаточное содержание N_2O_3 в кислоте при этом составляет 0,013 %. Таким образом, отгонка N_2O_3 из нитрозной серной кислоты горячим воздухом без введения восстановителей не обеспечивает снижение концентрации оксида азота (III) в серной кислоте менее 0,013 %. Исследованием отдувки азотной кислоты из совместного раствора серной и азотной кислот установлено, что продувка серной кислоты горячим воздухом позволяет удалить основное количество азотной кислоты (табл. 3) при начальном содержании ее 0,054 %.

Таблица 3

Кинетика десорбции азотной кислоты из 70 % серной кислоты

Время, мин	Остаточное содержание HNO_3 ($\times 10^3$, %) при температуре, °С				
	80	110	130	150	170
20	7,5	4,3	3,7	2,6	1,8
40	7,2	2,4	2,5	0,8	0,7
60	2,5	1,4	0,7	0,6	0,5
80	1,1	0,6	0,4	0,3	0,3
100	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2
120	0,3	0,3	0,2	0,2	0,14

Как видно из табл. 3, при температуре опыта 110 °С и продолжительности продувки 20 мин остаточное содержание азотной кислоты составляет 0,0043 %, а степень денитрации серной кислоты 92,0 %. При 170 °С за 120 мин отдувается 99,7 % азотной кислоты, что соответствует остаточному содержанию азотной кислоты 0,00014 %.

Таким образом, отдувкой горячей неконденсируемой фазой следует довести концентрацию серной кислоты до 80 % и такую кислоту непосредственно направить во вторую ступень концентратора.

Выводы

1. Приведен краткий анализ работы аппаратов концентрирования серной кислоты, туманообразования и снижения пресыщения газовой фазы парами серной кислоты, превышающее критическое значение.

2. Выполнено исследование по отдувке соединений азота из серной кислоты неконденсируемой средой в зависимости от свободного сечения тарелки, температуры и продолжительности процесса.

3. Определены константа, степень десорбции соединений азота и упаривания серной кислоты.

Список литературы

1. Иошпа И.Е., Перетрутов А.А., Ким П.П. Равновесное давление окислов азота над нитрозами, содержащими свободную азотную кислоту // Прикладная химия. – 1973. – № 5. – С. 967–972.

2. Катраев А.Н., Ким П.П., Пастухова Г.В., Перетрутов А.А. Десорбция соединений азота из отработанной серной кислоты // Вопросы спец. машиностроения. – М., 1987. – № 9. – С. 41–45.

3. Ким П.П., Пастухова Г.В., Перетрутов А.А. Гидролиз нитрозилсерной кислоты // Прикладная химия. – 2001. – № 1. – С. 162–164.

4. Ким П.П., Перетрутов А.А., Поляков В.М. Некоторые вопросы денитрации и концентрирования отработанной серной кислоты // Интеграция науки и производства спецхимии в современных условиях: сб. научных трудов. – Дзержинск, 2007. – С. 21–27.

5. Ким П.П., Тимин К.Н., Казанцев Б.П., Пастухова Г.В. исследование процесса концентрирования серной кислоты // Хим. пром-сть. – 2002. – № 1. – С. 9–12.

References

1. Ioshpa I.E., Peretrutov A.A., Kim P.P. Ravnovesnoe davlenie okislov azota nad nitrozami, soderzhashhimi svobodnuju azotnuju kislotu // Prikladnaja khimija. 1973, no. 5. pp. 967–972.

2. Katraev A.N., Kim P.P., Pastukhova G.V., Peretrutov A.A. Desorbcija soedinenijj azota iz otrabotannojj sernojj kisloty // Voprosy spec. мashinostroenija. M.: 1987. no. 9, pp. 41–45.

3. Kim P.P., Pastukhova G.V., Peretrutov A.A. Gidroliz nitrozilsernojj kisloty // Prikladnaja khimija. 2001, no. 1, pp. 162–164.

4. Kim P.P., Peretrutov A.A., Poljakov V.M. Nekotorye voprosy denitracii i koncentrirovanija otrabotannojj sernojj kisloty. Integracija nauki i proizvodstva speckhimii v sovremennykh uslovijakh. Sb. nauchnykh trudov g. Dzerzhinsk, 2007, pp. 21–27.

5. Kim P.P., Timin K.N., Kazancev B.P., Pastukhova G.V. issledovanie processa koncentrirovanija sernojj kisloty // Zhurnal Khim. prom-st' 2002. no. 1, pp. 9–12.

Рецензенты:

Ксандров Н.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ТНВ, Дзержинский политехнический институт, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Дзержинск;

Сидягин А.А., д.т.н., профессор кафедры МАХПП, Дзержинский политехнический институт, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Дзержинск.

Работа поступила в редакцию 04.02.2015.

УДК 629.331

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АВТОМОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ

Киселёва Н.Н., Платонов А.А.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», Москва, e-mail: paa75@yandex.ru

Приведено обоснование целесообразности дальнейшего совершенствования формы и деталей автомобиля при одновременном соблюдении требований по безопасности движения. Выявлена необходимость улучшения аэродинамических характеристик транспортных средств независимо от формы их кузова и соблюдаемого скоростного режима. Раскрыта главная проблема, которую решают при моделировании обтекания автомобиля воздушными потоками с обоснованием целесообразности соблюдения значений коэффициента лобового аэродинамического сопротивления. Установлена возможность проведения исследований аэродинамических характеристик транспортных средств по их полной геометрической модели без упрощений, используя при этом различные программные комплексы, предназначенные для виртуального продувания различных объектов, и приведён пример моделирования загрязнения кабины автомобиля для дальнейшего расчёта траектории полёта частиц, загрязняющих автомобиль. Сделан вывод о целесообразности использования подобных современных программных комплексов, позволяющих оптимизировать исследуемую конструкцию.

Ключевые слова: автомобиль, аэродинамические характеристики, моделирование

MODERN INFORMATION OF TECHNOLOGY FOR EXECUTION OF EXPERIMENTS AUTOMOTIVE STYLING AERODYNAMICS OF THE CAR

Kiseleva N.N., Platonov A.A.

Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, e-mail: paa75@yandex.ru

The substantiation of the expediency of further improvement the forms and details of the car, while respecting the requirements for the safety of their movement. Identified a need improve the aerodynamic the performance of vehicles regardless of the form of bodywork and observe speed limits. Disclosed the main problem, which is solved in modeling of flow around a car with air currents substantiate usefulness of compliance with the degree of frontal aerodynamic drag. Established the possibility of carrying out research of aerodynamic characteristics of vehicles at their full geometric model without simplifications, using a variety of software systems, designed for a virtual purge of different objects, and an example of pollution modeling the cab car for further calculation the trajectory of particles polluting car. It is concluded that the feasibility of using these modern software systems to optimize the studied structure.

Keywords: car, aerodynamic characteristics, modeling

Динамичное развитие отрасли современного автомобилестроения ставит новые задачи по совершенствованию формы и деталей автомобиля. При этом увеличение скорости движения современных автомобилей повышает требования к их безопасности, важной составляющей которой является возможность водителя полно и своевременно оценивать дорожную обстановку.

В немалой степени дорожная обстановка оценивается через боковые стёкла и боковые зеркала заднего вида, загрязнение которых ухудшает обзор, создавая при этом угрозу безопасности движения не только для самого водителя, но и для окружающих его транспортных средств.

Вопросам обеспечения безопасности движения транспортных средств и в частности совершенствования их аэродинамических характеристик посвящены работы многих отечественных исследователей [3, 4, 5, 6 и др.].

О важности аэродинамики задумались еще в начале XX века, и уже тогда появились первые модели с улучшенной аэродинамикой. Некоторые из них были сделаны в форме капли, однако уже тогда стало понятно, что ездить в такой машине было неудобно. Поэтому в серийных автомобилях стали использовать отдельные элементы каплевидной формы: делать покатый задок и округлять переднюю часть.

Во многих работах отмечается, что одной из основных характеристик аэродинамики автомобиля является коэффициент лобового аэродинамического сопротивления Cx (Cw в немецкой литературе и Cd в американской) (рис. 1). Обычные значения для современных моделей – от 0,28 до 0,4, что позволяет достигать необходимых значений как по скоростным режимам, так и по комфорту водителей и пассажиров.

В [1] отмечается, что главной особенностью при создании автомобиля является

моделирование обтекания автомобиля воздушными потоками (в частности, внешнее обтекание автомобиля). При обтекании автомобиля (рис. 2) поток относительно тела обдувается воздухом с некоторой скоростью, располагаясь в непосредственной близости от экранирующей плоскости (в данном случае это полотно дороги) и перемещаясь под телом со скоростью движения автомобиля. При этом главная проблема, которую решают при отработке аэродинамики, – это снижение лобового аэродинамического сопротивления.

В исследовании [2] было показано, что основными методами определения аэродинамических характеристик в середине XX века были испытание автомобиля в реальных условиях на дороге и продувание масштабной модели в аэродинамической трубе. Наибольшие издержки при моделировании большого количества вариантов конфигурации являются преимущественным недостатком этих методов.

Однако в работе [10] отмечалось, что благодаря росту быстродействия ЭВМ в настоящее время появилась возможность выполнения численных исследований, что позволяет проводить не только расчёты большого числа вариантов, но и моделирование объектов.

Современное моделирование происходит в трёхмерной постановке, согласно принципу «как есть», то есть существует возможность исследования полной геометрической модели без упрощений. При этом пользователь может выбрать степень детализации моделируемого объекта, обеспечивая, при необходимости, разумный компромисс между точностью и временем вычислений.

Программный комплекс FlowVision предназначен для виртуального продувания различных объектов с целью исследования их аэродинамики. Поддерживаются различные скорости набегающего потока, а также задание степени турбулентности (возмущённости), что анализируется в работе [7].

Рис. 1. Аэродинамика автомобиля сверху и снизу

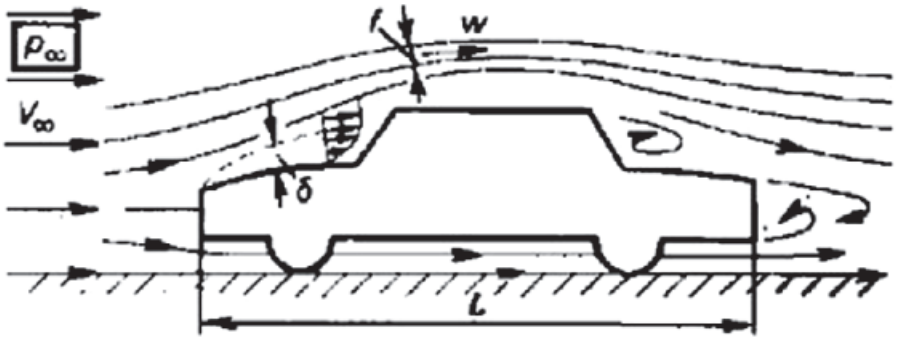


Рис. 2. Схема обтекания автомобиля потоком

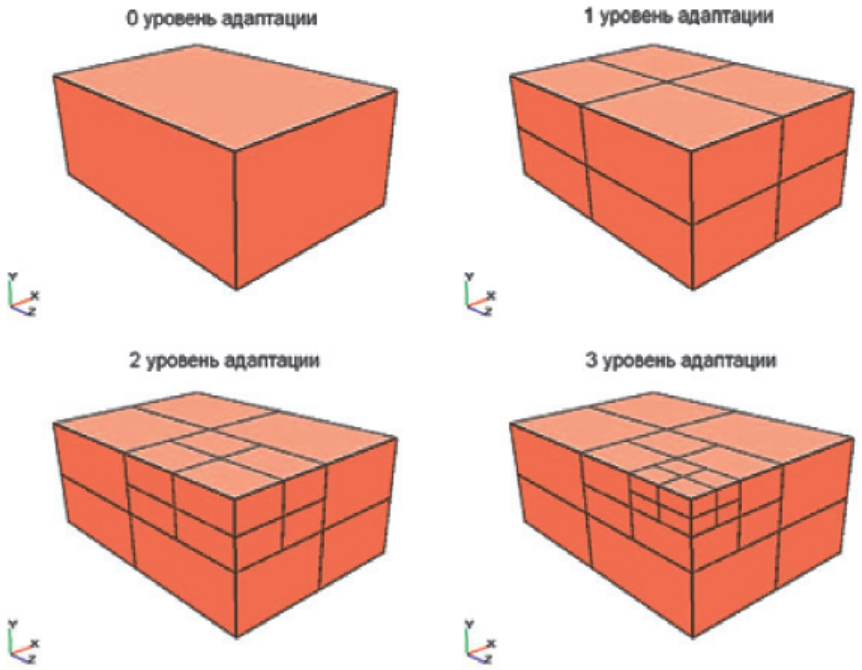


Рис. 3. Схема адаптации расчётной сетки FlowVision

В основе математического алгоритма, используемого в FlowVision, лежит закон сохранения масс и теоремы Остроградского – Гаусса, то есть нахождения среднего значения в объёме на основе данных на границах. Получение более точного решения обеспечивается за счёт разбиения расчётного объёма на ячейки меньшего размера. В FlowVision для построения сетки используются ячейки в виде прямоугольных параллелепипедов (рис. 3). FlowVision позволяет моделировать подвижные тела, придавая им поступательное или вращательное движение, комбинируя следующие способы: определение скорости движения тела; определение силы, действующей на тело; воздействие среды на тело. Программный комплекс FlowVision позволяет моделировать и использовать параллельные вычисления в автоматическом режиме, при этом от пользователя только требуется указать количество ядер. Разбиение области между процессорами и обмен данными алгоритм выполняет самостоятельно.

Семейство программ ANSYS включает в себя программы для расчёта прочности, долговечности, динамики жидкости, газа и твёрдых тел, а также междисциплинарный анализ. Программный комплекс ANSYS CFX, описанный в работе [8], – это мощный инструмент, предназначенный для оптимизации разработки конструкций, с учётом динамики жидкости и газа. Адаптивная архитектура позволяет выполнять различные действия, такие как анализ течения жидкости и взаимодействия сложных структур. Для построения сетки используется компонент ANSYS Meshing, который предоставляет множество различных технологий построения сетки. Пользователь также имеет возможность редактировать сетку и строить структурированную гексагональную сетку. Ядром модуля ANSYS CFX является современный алгебраический многосеточный сопряженный решатель, в основе которого лежит технология Coupled Algebraic Multigrid, которая позволяет получить точные результаты за малое время. Поддерживается возможность корректировки граничных условий и параметров решателя во время выполнения расчёта без необходимости останавливать решатель. В ANSYS CFX применяется схема дискретизации второго порядка точности по умолчанию, что обеспечивает приемлемую погрешность. Использование технологии сопряженных решателей ANSYS CFX дает значительные преимущества при проведении любого расчета и позволяет получить устойчивые и масштабируемые решения для различных задач.

Решатель ANSYS CFX разрабатывался с учётом требования эффективности при параллельных расчетах. Это стало особенно актуально, ввиду распространения многоядерных процессоров и кластеров.

При этом ANSYS CFX обладает масштабируемостью, позволяя эффективно использовать доступные процессорные ядра и оперативную память. Точность расчетов также сильно зависит от выбора адекватной физической модели. Модуль ANSYS CFX содержит большое количество физических моделей, при этом обеспечивается взаимодействие между физическими моделями с различными типами элементов и соединений сеточных интерфейсов, что позволяет выполнять сложные междисциплинарные расчеты. ANSYS поддерживает такие модели, как турбулентность, вращающиеся машины, многофазные потоки, теплообмен и радиационный обмен, горение, жидко-конструкционное взаимодействие, движущаяся сетка и погружённые в жидкость твёрдые тела.

Как показано в работе [9], STAR-CCM+ является одним из наиболее современных программных комплексов, разработанных для решения задач механики сплошных сред. STAR-CCM+ использует такие решатели, как связанный (coupled solver) и распределённый (segregated solver).

К особенностям STAR-CCM+ относятся:

– восстановление целостности поверхности (surface wrapping), создания сеток различной конфигурации из многогранных ячеек, в том числе произвольных. Использование этих средств существенно сокращает время решения задачи;

– поддержка большого количества физических моделей, таких как турбулентные и ламинарные течения, ньютоновские и неньютоновские жидкости, многофазные среды, излучение, горение, развитие пограничного слоя, кавитация, сверхзвуковые течения, сопряженный теплообмен и другие;

– средства визуализации. Пользователь может видеть результаты в процессе расчёта и изменять параметры;

– надёжность результатов. Устойчивый решатель STAR-CCM+ работает без аварийных остановов;

– модели совместимы с существующими программными продуктами: STAR-CD, ICEM, GridGen, Gambi;

– масштабируемость параллельных вычислений: позволяет использовать модели, состоящие из 1 млрд и более ячеек;

– средства построения сеток STAR-CCM+ включают в себя ряд алгоритмов, таких как восстановление целостности поверхности (Surface Wrapper: позволяет автоматически исправлять сложные CAD-модели для получения замкнутой поверхности); средства перестроения поверхностной сетки (Surface Re-meshing: перестраивает импортированную сетку для получения поверхностной сетки, оптимизированной для проведения расчётов. Есть возможность построить на её основе объёмную сетку из многогранных ячеек); средства построения сеток из многогранных ячеек (Polyhedral Meshing: повышает точность вычислений моделей со сложной геометрией); технология «усечённых» ячеек (trimmed cells: повышает надёжность работы с многогранными ячейками, избегая ошибок связности; построения сеток различной конфигурации для различных частей модели (Multi-region meshing: такие возможности позволяют строить расчётные сетки для решения задач сопряженного теплообмена, моделирования пористых сред, а также вращающихся механизмов); «конвейерная» методика («pipeline» methodology: эффективна при наличии нескольких конфигураций модели).

Рис. 4. Геометрия кабины после импорта

При помощи программного комплекса Star-CCM+ было произведено моделирование загрязнения кабины автомобиля и расчёт траектории полёта частиц, загрязняющих автомобиль. Для проведения расчётов в Star-CCM+ была использована модель геометрии кабины с колесом и боковым зеркалом коммерческого автомобиля, которая создавалась в пакете Autodesk Inventor 2012. Данная модель была сохранена в формате X_B и далее успешно импортирована в рабочую среду Star CCM+. На рис. 4 представлена геометрия кабины после импорта для последующего моделирования её загрязнения.

Вывод

Таким образом, как было сказано выше, при проведении экспериментов моделирования аэродинамики автомобиля целесообразно использовать современные программные комплексы, предназначенные для виртуального продувания различных объектов с целью исследования их аэродинамики.

Данные программные комплексы позволяют моделировать подвижные тела, придавая им поступательное или вращательное движение, а также использовать параллельные вычисления в автоматическом режиме. Кроме того, они позволяют оптимизировать конструкцию с учётом динамики жидкости и газа, а также решать задачи механики сплошных сред.

Список литературы

1. Вопросы механики обтекания автомобилей [Электронный ресурс] // Устройство автомобилей [сайт] [2014]. – URL: http://autonotes.info/voprosy-mexaniki-obtekaniya-avtomobilej/ (Дата обращения: 6.05.2014).

2. Гросс Д.С., Сексинский У.С. Некоторые проблемы испытаний автомобилей в аэродинамических трубах: пер. с англ. Ф.Н. Шклярчука // Аэродинамика автомобиля: сб. статей. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.

3. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.

4. Киселева Н.Н., Катаева Л.Ю., Масленников Д.А. Воздействие аэродинамики на безопасность эксплуатации автомобиля // Новые технологии и проблемы технических наук: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. – Красноярск, 2014. – С. 16–19.

5. Платонов А.А. Особенности обеспечения безопасности движения в Европейском Союзе // Воронежский научно-технический Вестник. – 2013. – № 4. – С. 50–57.

6. Платонов А.А., Платонова М.А. Особенности организации безопасного движения специального самоходного подвижного состава // Воронежский научно-технический Вестник. – 2014. – № 2 (8). – С. 80–86.

7. Программный комплекс FlowVision [Электронный ресурс] // Компания Тесис [сайт] [2014]. – URL: http://www.tesis.com.ru/software/flowvision/ (Дата обращения 07.02.2014).

8. Программные продукты ANSYS [Электронный ресурс] // Группа компаний «ПЛМ Урал»: Единый центр поддержки продуктов ANSYS [сайт] [2014]. – URL: http://www.cae-expert.ru (Дата обращения 07.02.2014).

9. Программный продукт Star-CCM+ [Электронный ресурс] // Саровский инженерный центр [сайт] [2014]. – URL: http://www.saec.ru/products/cd-adapco/star-ccm#&panel1-3 (Дата обращения 20.03.2014).

10. Hucho W.-H. Aerodynamics of Road Vehicles. – 4-th Edition. – Warrendale, Pa.: SAE Publi-cation, 1998.

References

1. Voprosy mekhaniki obtekanija avtomobilejj [Ehlektronnyjj resurs] // Ustrojjstvo av-tomobilejj [sajjt] [2014]. URL: http://autonotes.info/voprosy-mexaniki-obtekaniya-avtomobilej/ (Data obrashhenija: 6.05.2014).

2. Gross D.S., Seksinskijj U.S. Nekotorye problemy ispytanijj avtomobilejj v aehrodinamicheskikh trubakh Aehrodinamika avtomobilja. Sb. statejj. Per. s angl. F. N. Shkljarchuka. M.: Mashinostroenie, 1984. 376 p.

3. Evgrafov A.N. Aehrodinamika avtomobilja. M.: MGIU, 2010. 356 p.

4. Kiseleva N.N., Kataeva L.Ju., Maslennikov D.A. Vozdejjstvie aehrodinamiki na bezopasnost' ehkspluatacii avtomobilja // V sbornike: Novye tekhnologii i pro-blemy tekhnicheskikh nauk Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnojj nauchno-prakticheskojj konferencii. Innovacionnyjj centr razvitija obrazovanija i nauki. Krasnojarsk, 2014. pp. 16–19.

5. Platonov A.A. Osobennosti obespechenija bezopasnosti dvizhenija v Evropejjskom Sojuze // Voronezhskijj nauchno-tekhnicheskijj Vestnik. 2013. no. 4. pp. 50–57.

6. Platonov A.A., Platonova M.A. Osobennosti organizacii bezopasnogo dvizhenija special'nogo samo-khodnogo podvizhnogo sostava // Voronezhskijj nauchno-tekhnicheskijj Vestnik. 2014. no. 2 (8). pp. 80–86.

7. Programmnyjj kompleks FlowVision [Ehlektronnyjj resurs] // Kompanija Tesis [sajjt] [2014]. URL: http://www.tesis.com.ru/software/flowvision/ (Data obrashhenija 07.02.2014).

8. Programmnye produkty ANSYS [Ehlektronnyjj resurs] // Gruppa kompanijj «PLM Ural»: Edinyjj centr podderzhki produktov ANSYS [sajjt] [2014]. URL: http://www.cae-expert.ru (Data obrashhenija 07.02.2014).

9. Programmnyjj produkt Star-CCM+ [Ehlektronnyjj resurs] // Sarovskijj inzhenernyjj centr [sajjt] [2014]. URL: http://www.saec.ru/products/cd-adapco/star-ccm#&panel1-3 (Data obrashhenija 20.03.2014)

10. Hucho W.-H. Aerodynamics of Road Vehicles. 4-th Edition. Warrendale, Pa.: SAE Publi-cation, 1998.

Рецензенты:

Волков В.С., д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сервиса, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж;

Макеев В.Н., д.т.н., профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 06.02.2015.

УДК 621.314.5:517.518.4

РАСЧЁТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ РЕЛЬСОТРОНА

[1]Колчанова В.А., [2]Стеклянникова С.Ю.

[1]ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ» («Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), Томск, e-mail: ni105@mail.ru;

[2]Национальный исследовательский Томский университет, Томск, e-mail: stekljannik@mail.ru

Приводится алгоритм определения распределения тока по поперечному сечению рельсотрона при воздействии синусоидального однополярного импульса на основе разложения импульса в ряд Фурье с дальнейшим определением активного сопротивления и индуктивности рельсотрона на единицу длины. При расчёте распределения плотности тока по сечению рельсотрона применялся принцип наложения. Несинусоидальный импульс тока рассчитывается как ток от действия пяти гармоник, амплитуды и начальные фазы которых определяются с использованием разложения в ряд Фурье. Погонное индуктивное и активное сопротивление рельсотрона при различных частотах определяется на основе расчёта электромагнитного поля с помощью теоремы Умова – Пойтинга в комплексной форме. Расчет электромагнитного поля проведен на основе метода конечных элементов. Решения получены с помощью программно-интегрированной среды MathCAD. Для реализации метода конечных элементов был использован пакет Matlab.

Ключевые слова: рельсотрон, скин-эффект, электромагнитное поле, плотность тока, метод конечных элементов

CALCULATION CURRENT DISTRIBUTION OVER THE CROSS-SECTION OF THE RAILGUN

[1]Kolchanova V.A., [2]Steklyannikova S.Y.

[1]National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, e-mail: ni105@mail.ru;

[2]National research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: stekljannik@mail.ru

An algorithm for calculating the current distribution over the cross section of the railguns when exposed to a sinusoidal unipolar pulse based on the expansion of the pulse in a Fourier series with the further definition of active resistance and inductance per unit length of the railgun. When calculating the current density distribution over the cross section of the railgun applied the principle of superposition. A non-sinusoidal current pulse is calculated as the current actions of the five harmonics, amplitude and initial phase are determined using Fourier series. Inductance and resistance railgun at different frequencies is determined by calculating the electromagnetic field with the help of Theorem Poynting-Pointing in complex form. The calculation of the electromagnetic field performed on the basis of the finite element method. Solutions obtained by using software-integrated environment MathCAD. For realization of the finite element method was used package Matlab.

Keywords: railguns, skin effect, current density, electromagnetic field, inductance, resistance, parameters, finite element method

Рельсотрон – импульсный электродный ускоритель масс, состоящий из двух параллельных электропроводных шин, вдоль которых движется электропроводная масса (снаряд или плазма) [8]. Принцип работы основан на превращении электрической энергии в кинетическую энергию снаряда. С изготовлением рельсотрона связан ряд серьёзных проблем: импульс должен быть настолько мощным и резким, чтобы снаряд не успел бы испариться и разлететься, но возникла бы ускоряющая сила, разгоняющая его вперед. Поэтому материал снаряда и рельс должен обладать как можно более высокой проводимостью, снаряд как можно меньшей массой, а источник тока как можно большей мощностью и меньшей индуктивностью [5, 6].

Количественное определение указанных характеристик позволит глубже познать особенности физических процессов, происходящих в рельсотроне, а также многих электрофизических устройств, работающих в импульсном электромагнитном поле (ЭМП), когда при проектировании и оптимизации их работы возникает необходимость расчета параметров с учетом проникновения (диффузии) ЭМП в массивные проводники [7]. В работе предложена математическая модель для исследования процессов, происходящих в рельсотроне, и алгоритм расчета электрических параметров на основе расчета энергии электромагнитного поля.

Необходимо учесть, что распределение плотности тока по сечению рельсотрона неравномерно. Форма импульса тока – несинусоидальна. Поэтому при расчёте распределения плотности тока по сечению проводника применялся принцип наложения. В соответствии с принципом суперпозиции (наложения) расчёт можно вести для каждой гармоники отдельно. Рассмотрим несинусоидальный импульс тока как ток

от действия пяти гармоник, амплитуды и начальные фазы которых определяются с использованием разложения в ряд Фурье. Гармониками выше пятой можно пренебречь, степень приближения к исходному импульсу можно оценить, используя теорему Парсеваля [7]:

$$\Delta = \frac{\int_0^T f(t)^2\,dt - \left[F_0^2 + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{k=5}(A_k^2 + B_k^2)\right]}{\int_0^T f(t)^2 dt} \times$$

$$\times 100\,\% = 0{,}801\,\%,$$

где k – номер гармоники; F_0, A_k, B_k^2 – постоянная составляющая, амплитуды косинусной и синусной составляющей k-й гармоники; $f(t)$ – исследуемая функция; T – период.

Качественно приближения к исходному импульсу демонстрирует рис. 1. Сплошной линией изображена исходная функция, пунктирной – полученная в результате сложения пяти гармоник и постоянной составляющей, I_m – амплитуда однополярного синусоидального импульса. Определим частотный спектр импульса. Для этого разложим импульс в ряд Фурье, определив коэффициенты разложения A_k, $k = 0, \ldots, N$. Для определения коэффициентов использовалась стандартная программа быстрого преобразования Фурье (FFT) программно-интегрированной среды MathCAD. Далее функция представлялась в виде ряда:

$$U(t) = \frac{A_2}{2} + \sum_{k=1}^{N}|A_k|\sin\left(\omega kt + \arg(A_k) + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $a_k = \frac{2}{T}\int_0^T U(t)\cos(\omega kt)dt$;

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T U(t)\sin(\omega kt)dt; \quad A_k = a_k + jb_k.$$

Спектр и результат восстановления функции по коэффициентам представлены ниже.

Число коэффициентов разложения бралось $N = 15$. Из спектра импульса видно, что, начиная с 5 гармоники, относительный вклад высших гармоник в импульсе не превышает 5%.

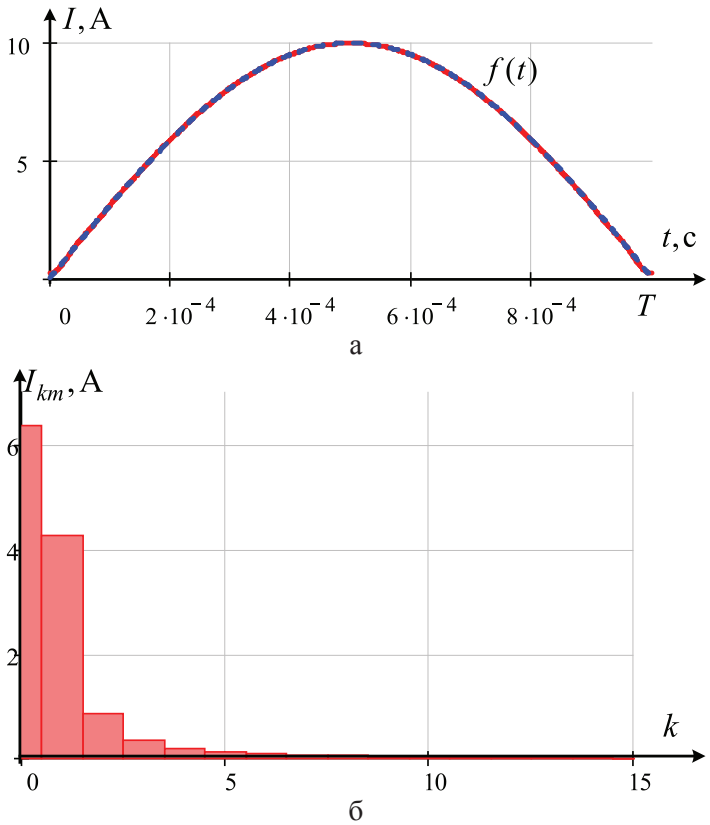


Рис. 1. Однополярный импульс:
а – исходный импульс показан сплошной линией, пунктирной показан импульс, полученный в среде MathCAD; б – амплитудно-частотный спектр

Зная геометрические размеры рельсотрона, решаем уравнение электрического поля в проводнике (1) численным методом интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных путем сведения их к уравнениям в конечных разностях [2, 4].

$$-\nabla\left(\frac{1}{\mu}\nabla E\right)+\left(j\omega\gamma-\omega^2\varepsilon\right)E=0, \qquad (1)$$

где E – напряженность электрического поля; $\mu = 4\pi\cdot10^{-7}$ – магнитная постоянная; $\gamma = 57\cdot10^6$ 1/(Ом·м) – удельная проводимость (для меди); $\varepsilon = 8{,}86\cdot10^{-12}$ – электрическая постоянная; ω – угловая частота.

В проводящей среде даже при очень высоких частотах произведение $\omega^2\varepsilon$ много меньше $\omega\gamma$. Поэтому с большой степенью точности слагаемым $\omega^2\varepsilon E$ можно пренебречь.

Программная среда pdetool математического пакета Matlab позволяет найти решения дифференциальных уравнений в двумерных областях методом конечных элементов [1, 3]. В результате получаем массив распределения плотности тока по поперечному сечению рельсотрона. Графики распределения плотности тока по сечению даны на рис. 2. С увеличением частоты плотность тока возрастает к периферии рельсотрона. Электрическое поле определяется через плотность $\vec{\delta}$ тока проводимость γ

$$\vec{\delta}=\gamma\cdot\vec{E}.$$

Зная распределение тока по сечению, можно вычислить напряженности поля $\vec{E}$ и $\vec{H}$. Электрическое поле определяется через плотность $\vec{j}$ тока проводимость γ. $\vec{E}=\vec{j}\cdot\gamma$.

Об адекватности метода можно судить по совпадению полученных результатов с известным расчётом распределения плотности тока круглого проводника с использованием функций Бесселя [2, с. 168–170], на рис. 3, б – пунктирная линия, с использованием среды pdetool математического пакета Matlab – сплошная линия.

Электрическое поле и магнитное связаны уравнением Максвелла.

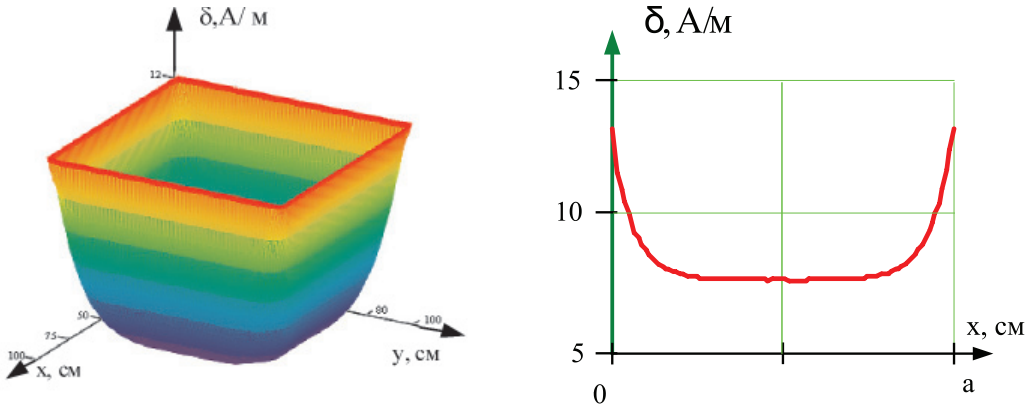
$$-j\omega\mu\vec{H}=rot\vec{E}.$$

Откуда определяется напряженность магнитного поля с учётом того, что у вектора напряжённости электрического поля присутствует только z-я составляющая (ось z направим вдоль оси рельсотрона (рис. 4))

$$\vec{H}=j\frac{1}{\omega\mu}\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ 00 & & E_z\end{vmatrix}=$$

$$=j\frac{1}{\omega\mu}\left[\vec{i}\left(\frac{\partial}{\partial y}E_z-\frac{\partial}{\partial z}\cancel{E_y}\right)+\vec{j}\left(\frac{\partial}{\partial z}\cancel{E_x}-\frac{\partial}{\partial x}E_z\right)\right].$$

Известно, что операция дифференцирования является некорректно поставленной задачей (в частности, малые ошибки могут вызвать сколь угодно большие ошибки в производной). Для устойчивого дифференцирования функции $E(x, y)$, заданной в виде дискретного массива данных в расчётных точках x_i, y_i значениями $\tilde{E}(x_i;\ y_j)$ в качестве приближения для $E(x, y)$ примем *сглаживающий кубический сплайн* (СКС).



а б

Рис. 2.
а – распределение плотности тока по объёму рельсотрона;
б – профиль распределения плотности тока, где а – ширина рельсотрона

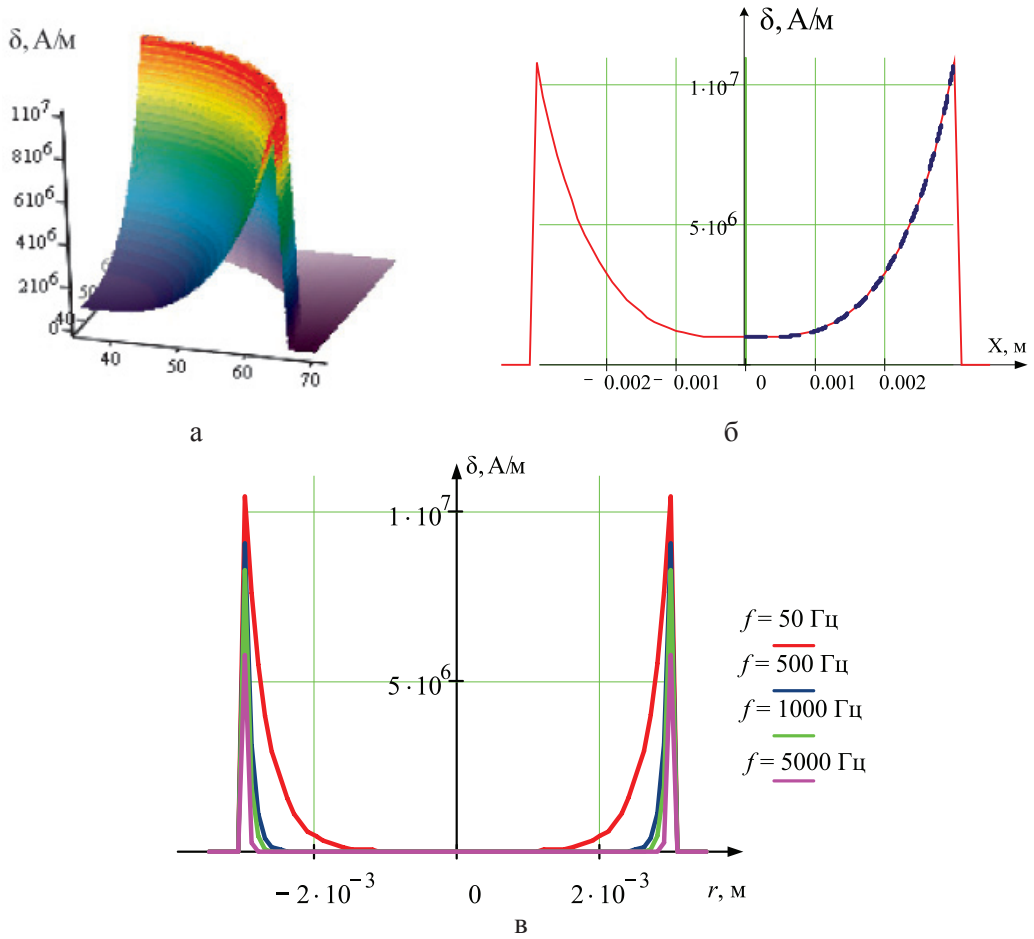


Рис. 3.
а – распределение плотности тока по объёму проводника;
б – профиль распределения плотности тока, где x – радиус проводника в метрах;
в – распределение тока в цилиндрическом медном γ = 57·106 Ом·м проводе для разных частот

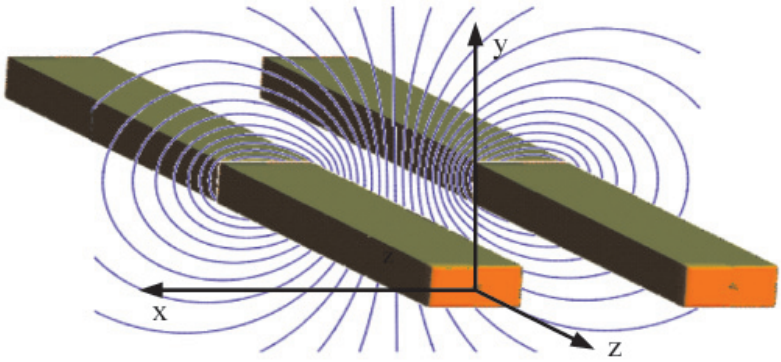


Рис. 4. Магнитное поле рельсотрона и ориентация осей декартовой системы координат для расчёта ЭМП методом конечных элементов

Вследствие того, что ток и магнитное поле распределяются внутри рельсотрона неравномерно, активное сопротивление и индуктивность для переменного тока отличаются от соответствующих значений квазистационарного тока.

Активное и индуктивное сопротивление рельсотрона при различных частотах определим с помощью теоремы Умова – Пойтинга в комплексной форме. С этой целью рассчитаем поток Пойтинга через боковую поверхность рельсотрона на длине в 1 метр

и разделим на квадрат тока, протекающего по рельсотрону; получаем комплексное сопротивление на единицу длины [2].

$$\oint\left[\vec{E}\overset{*}{\vec{H}}\right]d\vec{s}=I^2R+jI^2\omega L;$$

$$R+j\omega L=\frac{\oint\left[\vec{E}\overset{*}{\vec{H}}\right]d\vec{s}}{I^2}. \qquad (2)$$

Из (2) определяется индуктивность рельсотрона и активное сопротивление на единицу длины для каждой расчётной гармоники входного тока.

$$R=\mathrm{Re}\left[\left(\oint\left[\vec{E}\overset{*}{\vec{H}}\right]d\vec{s}\right)\Big/I^2\right];$$

$$L=\mathrm{Im}\left[\left(\oint\left[\vec{E}\overset{*}{\vec{H}}\right]d\vec{s}\right)\Big/\left(I^2\omega\right)\right].$$

Выводы

Приводится алгоритм определения распределения тока по поперечному сечению рельсотрона при воздействии синусоидального однополярного импульса на основе разложения импульса в ряд Фурье с дальнейшим определением величин погонной индуктивности и активного сопротивления рельсотрона для каждой расчётной гармоники тока. Полученная математическая модель позволяет определить распределения тока по поперечному сечению рельсотрона с достоверной погрешностью для дальнейших исследований без использования натурного эксперимента. Апробация метода была произведена на примере расчёта плотности тока проводника круглого сечения [2, с. 168–170].

Список литературы

1. Ануфриев И.Е. Самоучитель Matlab 5.3/6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле: учебное пособие. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.

3. Васильева О.В. Моделирование электромагнитного привода вакуумного выключателя // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3 (Электронный журнал); URL: www.science-education.ru/109-9347 (дата обращения: 08.01.2015).

4. Измайлов С.В. Курс электродинамики: учебное пособие. – М.: Учпедгиз, 1962. – 440 с.

5. Носов Г.В. К расчету параметров и эффективности преобразования энергии рельсотроном // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – т. 310. – № 2. – С. 70–73.

6. Носов Г.В., Косилова Д.Ю. Параметры скин-слоя массивных ферромагнитных проводников в установившемся режиме при синусоидальном электромагнитном поле // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3 (Электронный журнал); URL: www.science-education.ru/109-9201 (дата обращения: 08.01.2015).

7. Толстов Г.П. Ряды Фурье. – М.: Наука, 1980. – 381 с.

8. Vasiljeva O.V., Isaev Y.N., Budko A.A., Filkov A.I. Assessment of thermodynamic parameters (Article number 012026) // Journal of Physics: Conference Series. – 2014 – Vol. 552 – № . 1. – P. 1–5; http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6986867&isnumber=6986840.

References

1. Anufriev I.E. Samouchitel' Matlab 5.3/6.x. SPb.: BKhV-Peterburg, 2003. 736 p.

2. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki: Ehlektromagnitnoe pole: uchebnoe posobie / L.A. Bessonov. 8-e izd., pererab. i dop. M.: Vysshaja shkola, 1986. 263 p.

3. Vasileva O.V. Modelirovanie ehlektromagnitnogo privoda vakuumnogo vykljuchatelja // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 3 (Ehlektronnyjj zhurnal); URL: www.science-education.ru/109-9347 (data obrashhenija: 08.01.2015).

4. Izmajjlov S.V. Kurs ehlektrodinamiki : uchebnoe posobie. M.: Uchpedgiz, 1962. 440 p.

5. Nosov G.V. K raschetu parametrov i ehffektivnosti preobrazovanija ehnergii rel'sotronom // Izvestija Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2007 t. 310, no. 2. pp. 70–73.

6. Nosov G.V., Kosilova D.Ju. Parametry skin-sloja massivnykh ferromagnitnykh provodnikov v ustanovivshemsja rezhime pri sinusoidal'nom ehlektromagnitnom pole // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 3 (Ehlektronnyjj zhurnal); URL: www.science-education.ru/109-9201 (data obrashhenija: 08.01.2015).

7. Tolstov G.P.. Rjady Fur'e / G. P. Tolstov. M.: Nauka, 1980. 381 p.

8. Vasiljeva O.V., Isaev Y.N., Budko A.A., Filkov A.I. Assessment of thermodynamic parameters (Article number 012026) // Journal of Physics: Conference Series. 2014 Vol. 552 no. 1. pp. 1–5; http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6986867&isnumber=6986840.

Рецензенты:

Усов Ю.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Канев Ф.Ю., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, Институт оптики и атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 03.02.2015.

УДК 612.3.02,004.896

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЕМ УРАВНИТЕЛЬНЫХ ТОКОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ

[1]Костюков А.В., [2]Чернов А.В., [1]Маркин А.С.

[1]ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, e-mail: kav@rgups.ru, granduser.a@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: a.v.chernov@pmvt.ru

Статья посвящена разработке интеллектуальной системы управления снижением уравнительных токов с электрической тяговой сети железных дорог. Особенностью системы управления является возможность работы в автоматическом режиме, а также применение вольтодобавочного трансформатора с изменяемыми режимами функционирования. Автоматический режим функционирования системы обеспечивается интеллектуальным контроллером искусственной вейвлет-нейронной сети. В статье выполнен анализ причин возникновения уравнительных токов в электрической сети тяговых подстанций. Указаны дестабилизирующие факторы, которые сопутствуют уравнительным токам. Выполнена постановка задачи уравнивания токов в тяговой сети железной дороги. Выполнен анализ методов решения задач, связанных со снижением уравнительных токов. Выявлены достоинства и недостатки существующих методов решения поставленной задачи. Предложен оригинальный подход к решению проблемы снижения уравнительных токов и схема интеллектуальной автоматической системы управления. Даны рекомендации по использованию предложенной системы автоматического управления.

Ключевые слова: интеллектуальная система, автоматическая система, уравнительный ток, тяговая сеть, вейвлет-нейронная сеть

INTELLIGENT AUTOMATICCONTROL SYSTEM FOR REDUCTION OF EQUALIZING CURRENTS IN TRACTION CURRENT SUPPLY

[1]Kostyukov A.V., [2]Chernov A.V., [1]Markin A.S.

[1]RostovState Transport University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: kav@rgups.ru, granduser.a@mail.ru;

[2]Rostov State University of Civil Engineering, Rostov-on-Don, e-mail: a.v.chernov@pmvt.ru;

Article devoted to develop the intellectual control system for equalizing currents in electrical traction supply of railroads. Feature of the control system is the ability to work in the auto mode, as well as the use of a booster transformer with changeable modes of operation. Automatic mode of the functioning of the system is provided by intelligent controller artificial wavelet neural network. The article analyze of the causes of the equalizing currents in the electrical network traction supply stations. Destabilizing factors that accompany surge are pointed. The problem of equalizing currents reduction in traction railway networkhas been stated. The analysis of methods devoted to problem solving related to the reductionof equalizing currentshas been done. Features and shortcomings of the existing methods has been fulfilled. Article propose the original approach to the solution of the problem in equalizing currents and intelligent and automatic control system schematic diagram. The recommendations on how to use the proposed automatic control systemare given.

Keywords: intelligent system, automatic system, equalizing current, traction network supply, wavelet-neural network

В межподстанционной зоне электрических железных дорог уравнительные токи имеются практически всегда. Это связано с тем, что смежные тяговые подстанции питаются от общей энергосистемы, а изменение нагрузки энергосистемы (ЭС) приводит к изменению падений напряжения на тяговых трансформаторах и линиях электропередачи (ЛЭП), что ведет к возникновению неравенства напряжения смежных тяговых подстанций по величине и по фазе и как результат – к появлению уравнительного тока. Положение усугубляется тем, что на тяговых подстанциях с трехфазными трансформаторами ТДТНЖ по схеме (звезда/треугольник) падение напряжения в трансформаторе зависит от тока нагрузки смежного плеча питания. Кроме того, на некоторых дистанциях электроснабжения имеет место несовпадение по величине напряжений холостого хода смежных подстанций за счет выбора неверного положения регулятора питающего напряжения (РПН) [4].

Уравнительный ток и сопутствующие ему дестабилизирующие факторы обладают следующими свойствами. Чем больше величина разности напряжений между смежными подстанциями, тем больше значение уравнительного тока. Величина уравнительного тока меняется в широких пределах и может принимать значения от единиц до сотен ампер. При равенстве уровней напряжений по модулю (на смежных тяговых подстанциях) уравнительный ток является активным. Будучи наложенным на ток нагрузки, он увеличивает коэффициент мощности одной из подстанций и снижает на другой.

Уравнительный ток приводит к дополнительным потерям электроэнергии

в тяговой сети, в некоторых случаях потери энергии могут достигать 400–700 тыс. кВтч за год. Наличие уравнительного тока в тяговой сети может привести к перегрузке устройств тягового электроснабжения, перегреву контактной сети, нарушениям в работе релейной защиты, поэтому необходимы организационно-технические мероприятия по устранению или снижению уравнительного тока в тяговой сети.

Для исключения уравнительного тока прибегают к обрыву электрической цепи протекания уравнительного тока. Данный метод является малоэффективным, консольная схема питания межподстанционной зоны должна использоваться с учётом эксплуатационных особенностей данного участка. В противном случае это приведёт к возрастанию потерь от тяговой нагрузки.

Анализ методов определения уравнительных токов

Среди методов и технологий определения уравнительных токов, на наш взгляд, выделяются следующие.

1. Определение уравнительных токов на участке тяговой сети переменного тока при двухстороннем питании, основанный на измерении питающих напряжений как по модулю, так и по фазе. Знание этих величин при известных электрических параметрах тяговой сети позволяет определить уравнительный ток. Однако задача усложняется значительным расстоянием между тяговыми подстанциями и отсутствием возможности измерения разности фаз напряжений подстанций, питающих данную фидерную зону.

Это вызывает необходимость одновременного замера напряжения. По осциллограммам определяют действующие значения напряжений и их фазовые сдвиги. По найденным величинам вычисляют однократную величину уравнительного тока в данный момент времени [2].

2. Способ определения уравнительного тока, требующий предварительного определения гармоничного состава тягового тока и напряжения тяговой подстанции в двух режимах: при двухстороннем питании и отключенной второй тяговой подстанции (Авторское свидетельство СССР № 1643228 А1, 1991, В 60 М 3/02).

В данном способе уравнительный ток определяют по аналитическому выражению, содержащему действующие значения высших гармонических составляющих тягового тока при двухстороннем питании и при отключенной второй подстанции, а также значениях сдвига фаз между первыми гармониками тока и напряжения в обоих режимах. Выражение получено при условии равенства коэффициентов гармоник тягового тока на шинах первой подстанции при двухстороннем и консольном питании. Способ упрощает определение уравнительного тока за счет измерений лишь на одной из тяговых подстанций.

Недостатки данного метода сводятся к нарушению режима работы тяговой сети, необходимость переключения с двустороннего на одностороннее питание.

3. Способ определения уравнительного тока двухпутного участка тяговой сети переменного тока состоит в регистрации изменения токов в определённые временные интервалы, по отношениям сопротивлений и соответствующих им токов тяговой сети нечетного и четного путей между шинами подстанций. Фиксируются интервалы времени, в течение которых отношение токов обратно пропорционально отношению их сопротивлений, полученные интервалы используют для формирования суммарного интервала времени отсутствия тяговой нагрузки в течение установленного времени и значения указанных токов и сформированный интервал времени используют для определения среднего квадратического значения уравнительного тока (Патент РФ № 2128120, 1999, В60М3/02).

4. Способ определения уравнительных токов, основанный на определении разницы показаний счетчиков смежных подстанций, а также по средневзвешенным коэффициентам мощности.

5. Способ определения уравнительного тока по коэффициенту третьей гармоники, тока суммарного времени протекания уравнительного тока в межподстанционной зоне. По мгновенным значениями тока и напряжения первой тяговой подстанции определяют активную и реактивную энергию в течение суммарного времени протекания уравнительного тока в межподстанционной зоне за периоды отсутствия тяговой нагрузки в течение установленного интервала времени определения уравнительного тока. Значения энергии могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Суммарное время T протекания уравнительного тока в межподстанционной зоне зависит от размеров движения поездов на исследуемом участке. При низких размерах движения T соизмеримо с установленным интервалом времени определения уравнительного тока. При высоких размерах движения значение T состоит из интервалов времени отсутствия поездов на участке, предусмотренных на выполнение ремонтных работ. Уравнительный ток в отличие от тягового является практически синусоидальным, коэффициент третьей гармоники тока служит информативным параметром об отсутствии в межподстанционной зоне тягового и наличии лишь уравнительного тока (Патент РФ № 2116206, 1999, В60М3/00).

Таблица 1

Измеряемые параметры и сопутствующие факторы уравнительного тока

№ п/п	Измеряемые параметры	Сопутствующие действия (факторы)
1	Фидерные токи	При отсутствии нагрузки
2	Напряжения холостого хода	Точность измерений (разница напряжений может отличаться на 5–10 %, фазовый угол 3–5 %)
3	Измерение напряжений, угла сдвига фаз	Одновременное измерение на смежных фидерах контактной сети
	Определение соотношений токов и сопротивлений тяговой сети	Фиксируют интервалы времени, в течение которых отношение токов путей обратно пропорционально отношению их сопротивлений
4	Определение гармонического состава тягового тока и напряжения	Измерения производят при двухстороннем питание, затем при одностороннем
5	Определение коэффициента третьей гармоники суммарного тока	Необходимо отсутствие тяговой нагрузки в определенный интервал времени
6	Определение расхода энергии, средневзвешенных коэффициентов мощности	Раздельно по плечам питания на смежных подстанциях

Все рассмотренные способы позволяют определить основные параметры, по которым можно определить величину уравнительного тока. Для удобства классификации параметры представлены в табл. 1.

Схема интеллектуальной автоматической системы снижения уравнительных токов

Задача снижения потерь от уравнительного тока является комплексной задачей, включающей в себя рассмотрение вопросов измерения и снижения уравнительных токов с использованием различных организационно-технических мероприятий.

Предлагается решить задачу по снижению уравнительных токов с помощью интеллектуальной системы автоматического снижения уравнительных токов, схема которой представлена на рис. 1. Центральными подсистемами являются: вольтодобавочный трансформатор и автоматическая система управления на базе контроллера искусственной вейвлет-нейронной сети.

Схема подключения вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) показана на рис. 2. Вторичная обмотка ВДТ включается в цепь отсоса тяговой подстанции, а первичная обмотка подключается к тяговой обмотке силового трансформатора. При этом возможны три варианта подключения к фазам АВ, ВС или СА с прямой либо обратной полярностью (ВА, СВ, АС). (Патент РФ № 2137623, 1999).

Рассмотрим работу устройства автоматического снижения уравнительных токов. Данные с измерительных трансформаторов напряжения и тока, а также приборов учёта электроэнергии поступают на блок формирования измеряемых параметров электроэнергии, который представляет собой аналогово-цифровой преобразователь и нормализатор исходных данных. Блок установки постоянных параметров электроэнергии передаёт информацию о характеристиках тяговой сети, схемах соединения, режимах работы трансформатора, величины напряжения. Данные из указанных блоков являются входными величинами контроллера искусственной вейвлет-нейронной сети (КИВНС).

КИВНС представляет собой нейропроцессор, реализующий алгоритмы вейвлет-преобразований [1] и алгоритмы искусственных нейронных сетей [3] аппаратным образом. Вейвлет-нейронная реализация алгоритмов [5] позволяет учесть существенные особенности решаемых задач с помощью подбора базисов и ядер вейвлет-преобразований. Схема КИВНС показана на рис. 3. Назначением КИВНС является автоматическая выработка решения изменения уравнительного тока в зависимости от нагрузки, способная заменить специалиста-эксперта и принять правильное решение по выбору позиции РПН.

После выработки решений КИВНС подаётся команда на быстродействующий переключатель режимов ВДТ. Быстродействующий переключатель со встроенным алгоритмом принимает команду о необходимости выбора позиции РПН с учетом значений уставок выбранного режима работы и состояния управляющих сигналов от КИВНС.

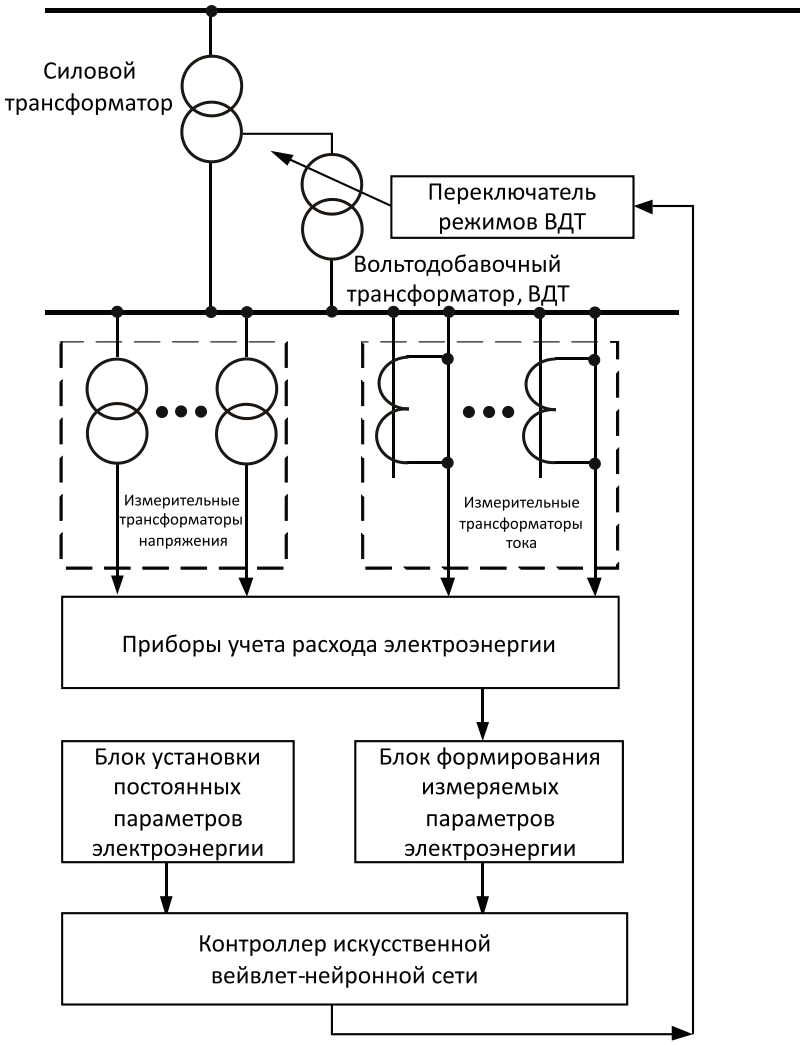


Рис. 1. Интеллектуальная система автоматического снижения уравнительных токов

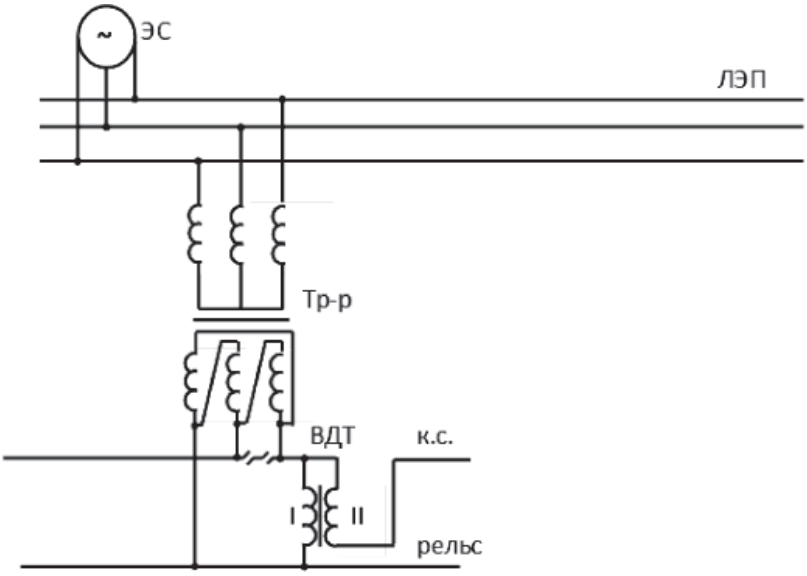


Рис. 2. Схема подключения вольтодобавочного трансформатора

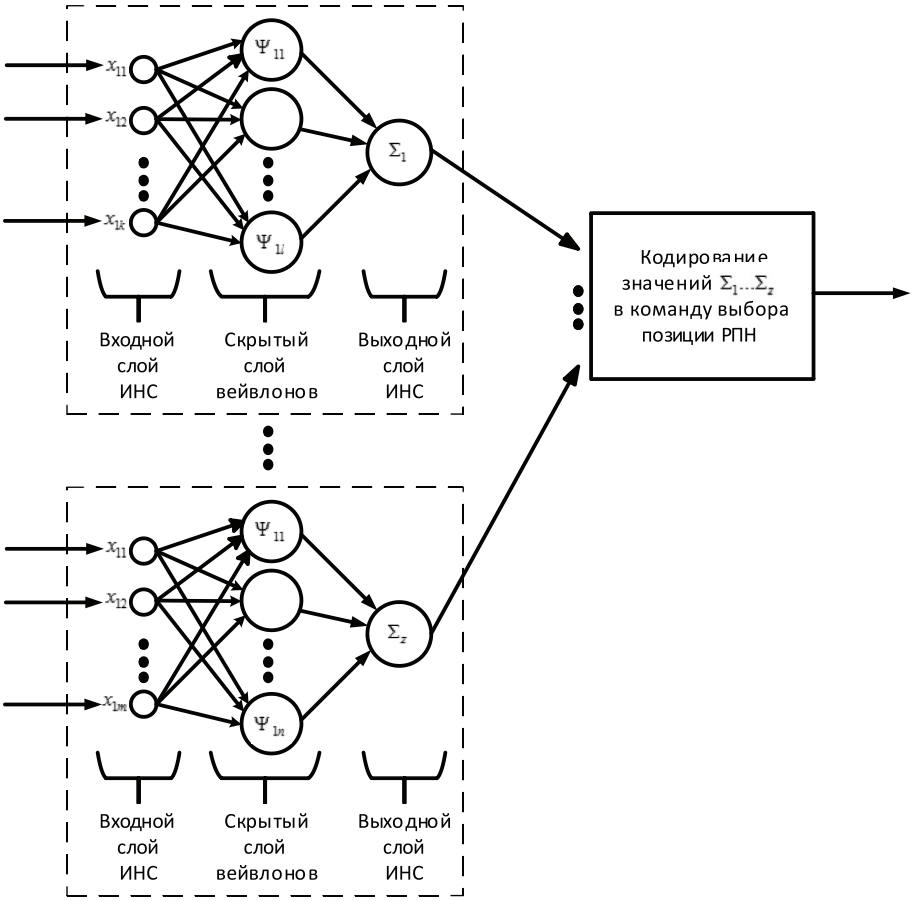


Рис. 3. Схема КИВНС

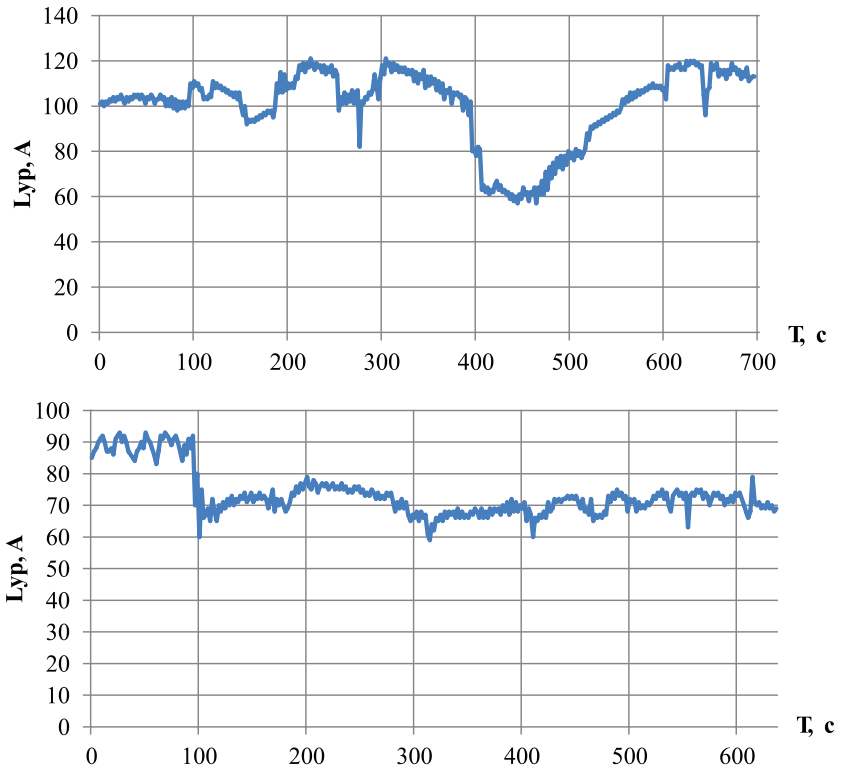


Рис. 4. Изменение величины уравнительного тока за время T

Результаты моделирования и экспериментов

Авторами была проведена серия экспериментов по подбору ядра вейвлет-преобразования, в числе которых были апробированы вейвлеты: Хаара, Добеши, Гаусса, Шеннона, Морле, Мейера, симлеты, биортогонального типа и типа «мексиканская шляпа». При обработке в КИВНС данных тягового тока наиболее подходящим оказался вейвлет Добеши с компактным носителем. Получена зависимость уравнительного тока для переходных режимов нагрузки силового трансформатора тяговой подстанции, показанная на рис. 4.

Полученная зависимость уравнительного тока совпала с результатами расчётов при математическом моделировании участка контактной сети, с учётом всех параметрических характеристик тяговой сети и системы электроснабжения.

Выводы и рекомендации

Таким образом, расчеты и экспериментальные исследования показали, что устройство автоматического снижения уравнительных токов позволяет в автоматическом режиме выбрать необходимую позицию РПН вольтодобавочного трансформатора с учётом величины уравнительного тока и тем самым снизить величину уравнительного тока фидерной зоны не менее чем в 4–5 раз. Данное устройство также позволяет ограничить величину ударного тока короткого замыкания, при этом механические усилия, действующие на обмотки силового трансформатора, уменьшаются примерно в 4 раза. В качестве ВДТ можно использовать трансформаторы типа ОЦР-5600/25, демонтированные с электровозов ВЛ-60К, что позволяет снизить затраты на приобретение основного оборудования данного устройства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 13-01-00325-а, 13-08-12151-офи_м.

Список литературы

1. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2001. – 464 с.

2. Межвузовский сборник научных трудов // Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Хабаровск, 1986. – С. 11–14.

3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

4. Черемисин В.Т., Кващук В.А. Контроль уравнительных токов, методика оценки потерь в тяговой сети переменного тока и мероприятия по их снижению // Сборник трудов Второго Международного Симпозиума ЭНСБ-КЭ-ЭМС-ЭМЭ-2000. – М.: МИИТ, 2000.

5. Alexandridis A.K., Zapranis A.D. Wavelet Neural Networks: With Applications in Financial Engineering, Chaos, and Classification. Wiley. – 2014. – 264 p.

References

1. Dobeshi I. Desjat' lekcij po vejvletam. Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika». 2001. 464 p.

2. Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov // Habarovskij institute inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. Habarovsk. 1986. pp. 11–14.

3. Hajkin, S. Nejronnyeseti: polnyjkurs, 2-e izdanie. Per. s angl. M.: Izdatel'skijdom «Vil'jams». 2006. 1104 p.

4. Cheremisin V.T., Kvashhuk V.A. Kontrol' uravnitel'nyh tokov, metodika ocenki poter' v tjagovoj seti peremennogo toka i meroprijatija po ih snizheniju // Sbornik trudov Vtorogo Mezhdunarodnogo Simpoziuma JeNSB-KJe-JeMS-JeMJe-2000. M.: MIIT, 2000.

5. Alexandridis A.K., Zapranis A.D. Wavelet Neural Networks: With Applications in Financial Engineering, Chaos, and Classification. Wiley. 2014. 264 p.

Рецензенты:

Петрушин А.Д., д.т.н., заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав», ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону;

Долгий И.Д., д.т.н., заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 528.88

НЕЛИНЕЙНЫЕ ТРЕНДЫ ЧИСТОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЮГА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

Ларько А.А., Иванова Ю.Д., Шевырногов А.П.

Институт биофизики СО РАН, Красноярск, e-mail: lantar@inbox.ru

Работа посвящена изучению пространственного распределения нелинейных трендов чистой первичной продукции (ЧПП) растительности, полученных различными методами на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Исследование проводилось на территории юга Красноярского края, обладающего большим разнообразием природных ландшафтов от степей до высокогорных альпийских лугов Саянских гор. В работе использовались методы STL (Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess) и ССА (сингулярный спектральный анализ). Сравнение результатов, полученных с помощью этих методов, показало, что для декомпозиции временных рядов данных ДЗЗ и последующего анализа полученных трендов больше подходит метод STL. Этот метод имеет гибкие настройки и позволяет выявлять краткосрочные циклы. Метод ССА не подходит для изучения трендов на коротких временных рядах, однако может быть использован для прогнозирования.

Ключевые слова: чистая первичная продукция, нелинейные тренды, тренды, спутниковые данные, растительность, динамика

NON-LINEAR TRENDS OF PLANTS NET PRIMARY PRODUCTION IN SOUTH OF KRASNOYARSK KRAI WITH SATELLITE DATA: METHODS AND APPROACHES

Larko A.A., Ivanova Y.D., Shevyrnogov A.P.

Institute of biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, e-mail: lantar@inbox.ru

This is a study of the spatial distribution of non-linear trend of net primary production (NPP) of vegetation obtained by different methods based on remote sensing. The study was conducted in the south of the Krasnoyarsk Territory, has a large variety of natural landscapes from the steppes to the high alpine meadows of the Sayan Mountains. We used methods of STL (Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess) and CCA (Singular Spectrum Analysis). Comparison of the results obtained by these methods has shown that the decomposition of time series of remote sensing data and further analysis of the trends is more suitable method of STL. This method has a flexible configuration and can detect short-term cycles. CCA method is not suitable for studying trends in short time series, but may be used for prediction.

Keywords: net primary production, non-linear trends, trends, satellite data, plants, dynamics

Для настоящего времени характерны крупномасштабные изменения в растительных сообществах в различных частях нашей планеты, связанные как с изменением климата, так и с широкомасштабной антропогенной деятельностью. Чистая первичная продукция является одним из показателей, который позволяет проследить изменения в растительных сообществах, в первую очередь изменения их продуктивности во времени на определенной территории. Чистая первичная продукция представляет собой количество углерода, ассимилированного зелеными растениями из атмосферы благодаря процессу фотосинтеза. Значения ЧПП отличаются как для различных растительных биомов, так и для одинаковых растительных сообществ, произрастающих в разных природных условиях. Основной сложностью при рассмотрении ЧПП является большая трудоемкость при определении его текущего значения для различных экосистем.

Существует достаточно большое количество исследований, посвященных изучению временной изменчивости продуктивности бореальных лесов с использованием данных космического зондирования [4, 5]. Однако большинство работ сосредоточено на анализе коротких временных рядов. Это период 1982–2000 гг. или ряды, начинающиеся с 2000 г. (что обусловлено запуском новых спутниковых систем). Кроме того, даже на более длительных промежутках времени (1982–2008) обычно рассматриваются линейные тренды, которые не дают объективной картины изменений. В большей части работ не рассматривается пространственное распределение динамики ЧПП или другого показателя, а оцениваются тренды, усредненные по площади. Полученные усредненные результаты при дальнейшей верификации их наземными данными зачастую очень неоднозначны. Таким образом, можно говорить о неприменимости линейных моделей для анализа временных

рядов в сложных, пространственно-распределенных системах. Поэтому возникает вопрос о проверке и анализе применимости различных методов получения временных трендов, подробное рассмотрение их особенностей, сильных и слабых сторон, применительно к данным дистанционного зондирования Земли, входящих в модели оценки ЧПП.

В данной работе оценивались нелинейные тренды чистой первичной продукции растительности с 2000 по 2012 гг. для юга Красноярского края (район бассейна реки Енисей). Общая площадь территории составляет 3000 км^2 (анализируемый участок размерностью 500×600 км). На данной территории находятся различные типы экосистем: степи Хакасии, лесостепи, хвойные и лиственные леса, горные территории Западного Саяна. Леса на территории района составляют 80% площади и приурочены к Саянам. На изучаемой горной территории представлены следующие высотные пояса: степной, лесостепной, черневой, таежный, субальпийский, альпийский. Таким образом, в результате исследования предполагалось получить тренды ЧПП для различных растительных сообществ на данной территории, проанализировать их особенности и протестировать пригодность для этих целей методов STL и ССА.

Материалы и методы исследования

Для определения значений ЧПП на протяженных малодоступных территориях традиционно используются данные дистанционного зондирования со спутников. Здесь расчет ЧПП основан на оптических спектральных спутниковых данных и данных о подстилающей поверхности. Для оценки чистой первичной продукции по спутниковым данным существует множество расчетных моделей, большинство из них позволяет оценить глобальные значения [1, 6]. В данной работе для расчета ЧПП была использована модель MODIS NPP (на основе данных MODIS/TERRA). Главной особенностью этой модели является использование эмпирических зависимостей при расчете ЧПП для каждого из 15 наземных биомов планеты. При расчетах фитомассы, GPP (общая первичная продукция) и дыхания используется индекс площади листовой поверхности (LAI). Функции дыхания и GPP зависят от температуры. В дополнение к дыханию зеленой фитомассы учитывается дыхание стволов (при расчете среднегодовых значений ЧПП) и дыхание корней.

Значения ЧПП были получены на основе данных сканера MODIS спутника Terra, в работе использовался продукт MOD17, пространственное разрешение 1 км^2. Временной ряд наблюдений с 2000 по 2012 гг. Данные представляют собой композитные изображения, временной шаг 8 дней, рассчитанные на основе модели MODIS NPP.

Первый метод, который использовался для декомпозиции временных рядов – STL Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess – процедура сезонно трендовой декомпозиции, основанная на Лессе. Метод STL основан на фильтрации исходных данных для разложения сезонных временных рядов на три компоненты: сезонную, трендовую и остаточную (шум):

$$D_i = T_i + S_i + N_i, \quad (1)$$

где D – значения временного ряда; T – Трендовая составляющая ряда; S – сезонная составляющая ряда; N – остаточная составляющая ряда; i – шаг по времени.

Сущность метода состоит в последовательном применении к данным временного ряда Loess-сглаживаний (Loesssmoother) [2].

Следующим нелинейным методом декомпозиции временных рядов взят метод ССА «Гусеница», в основе которого лежит сингулярный спектральный анализ данных временного ряда. Метод основан на анализе главных компонент и позволяет исследовать стационарные и нестационарные временные ряды [3]. Метод ССА «Гусеница» позволяет выделить интересующие компоненты временного ряда, в частности линейный и нелинейный тренды, компоненты с заранее известным и заранее неизвестным периодом, сгладить исходные данные, сделать прогноз ряда, заполнить пропуски.

Базовый алгоритм состоит из двух этапов, разложения и восстановления. Этап разложения состоит из двух шагов. Процедура вложения переводит исходный временной ряд D размерностью N (2) в последовательность многомерных векторов X.

$$D = (f_0, f_1, \ldots, f_N) \quad (2)$$

Пусть L – некоторое целое число (длина окна), $1 < L < N$. Процедура вложения образует $K = N - L + 1$ векторов вложения, имеющих размерность L.

За процедурой вложения идет сингулярное разложение матрицы ряда. Этап восстановления заключается в группировке выбранных компонент (для получения тренда выбирается самая медленная компонента). На последнем шаге базового алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения переводится в новый ряд длины N посредством диагонального усреднения [3].

Каждый из методов имеет свои особенности, сильные и слабые стороны. Например, метод STL в зависимости от заданной степени сглаживания, способен выделять не только трендовые, но и тренд-циклические компоненты временных рядов. Эта дополнительная информация может послужить основой при анализе биологических и климатических причин таких колебаний динамики ЧПП различных экосистем, находящихся на изучаемой территории. С другой стороны, метод ССА «Гусеница» позволяет находить трендовые, циклические и другие компоненты временного ряда в виде отдельных спектральных составляющих, создавая тем самым основу для прогноза поведения временных рядов ЧПП.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью двух различных методов STL и ССА «Гусеница» были получены пространственно-распределенные нелинейные тренды точечных измерений чистой первичной продукции (рис. 1).

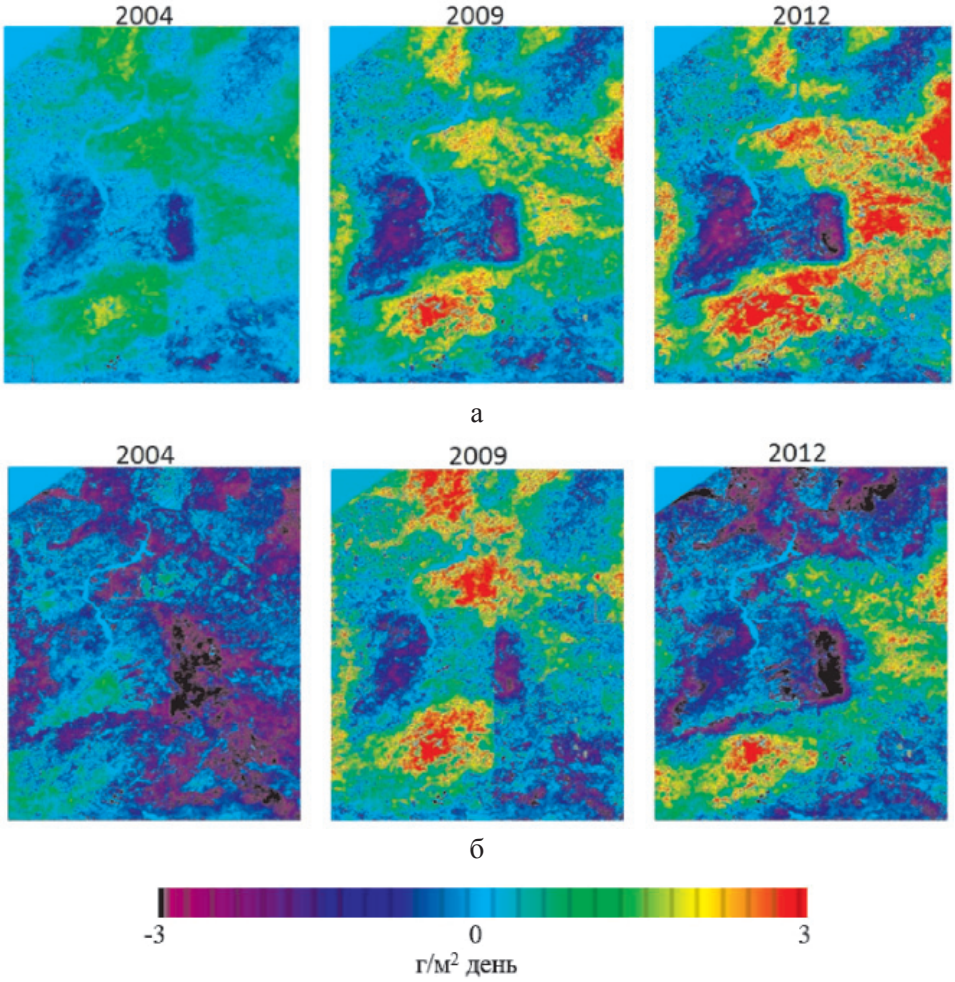


Рис. 1. Пространственное распределение значений трендов ЧПП относительно начальных значений (2000 год): а – рассчитанных методом ССА; б – рассчитанных методом STL

Метод STL имеет более гибкую настройку фильтрации шумов, что позволяет выявлять краткосрочные циклы развития трендов. К особенностям данного метода нужно отнести то, что при увеличении размеров окна фильтрации происходит сглаживание кривой, которое приводит к вырождению нелинейного тренда в линейный. В результате этого могут быть потеряны важные особенности динамики ЧПП во времени, обусловленной внешними (температурно-влажностный режим, антропогенное воздействие и др.) или внутренними причинами (возраст, породный состав древостоя, другие характеристики растительного ценоза), оказывающими влияние на будущую динамику ЧПП.

Следующим недостатком метода STL является то, что при изменении длины временного ряда значения на концах полученных кривых заметно отличаются (рис. 2). На рисунке представлены тренды, рассчитанные методом STL для одной и той же точки но по разным временным отрезкам, ширина окна фильтрации 4 года. Таким образом, могут наблюдаться значительные, зависимые от степени сглаживания, расхождения значений на концах полученных кривых.

В процессе работы с методом – ССА «Гусеница» выяснилось, что к особенностям применяемого метода нужно отнести то, что расчет трендов значений ЧПП методом ССА на коротких временных отрезках, таких как 2000–2012 гг., показывает только линейное направление, не улавливая краткосрочные циклы (рис. 2). Следующим недостатком метода ССА является то, что для получения нелинейного тренда необходимо соблюдение специальных условий: выбор окна, равного половине временного отрезка и кратного периоду, что приводит к требованию четности по периоду для временного ряда. Иначе полученный тренд имеет большое зашумление сезонной динамикой.

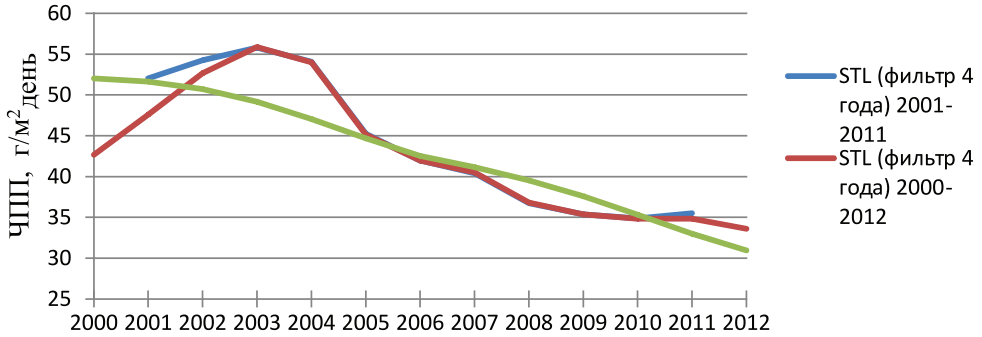


Рис. 2. Примеры нелинейных трендов ЧПП, построенных разными способами

Общая же картина поведения трендов во времени и пространстве, показанная этими методами, не имеет принципиальных различий (рис. 1).

Пространственное распределение трендов ЧПП на рассмотренной территории показало особенности временной динамики значений ЧПП для различных растительных сообществ за период времени 2000–2012 гг. Декомпозиция временных рядов ЧПП двумя методами выявила зоны уменьшения, роста и стабильного поведения ЧПП на исследуемой территории за это время (рис. 1).

Если опираться на ландшафтное распределение типов растительности изучаемой территории, можно сделать вывод, что зоны роста трендов ЧПП преимущественно соответствуют хвойным вечнозеленым лесам, зоны уменьшения расположены в смешанных и лиственных лесах, а стабильные значения присущи степным и сельскохозяйственным землям.

При анализе временной динамики рядов ЧПП за период 2000–2012 гг. с помощью метода ССА можно с уверенностью отметить общие изменения в значениях ЧПП на рассмотренной территории, произошедшие за тринадцать лет. Уменьшения значений ЧПП на данной территории произошли на равнинах и на территории предгорий Саян. Эти площади представляют собой либо сельхозугодия, либо луговую, лесную растительность, смешанную с сельхозугодиями на территориях, простирающихся вокруг р. Енисей и не достигающих высот 300 м над уровнем моря. Именно эти районы наиболее подвержены антропогенному воздействию, и именно они страдают в первую очередь при неблагоприятных погодных условиях, таких как засухи.

Если рассматривать значения ЧПП как условный показатель, отражающий динамику бюджета углерода на рассмотренной территории за определенный период времени, без учета почвенных процессов, можно определить территории, расположенные до 300 м, как территории, которые перестали накапливать углерод в растительной биомассе с той скоростью, как это происходило 13 лет назад. Снижение аккумуляции углерода из атмосферы достигает на отдельных территориях примерно 30 %. Этот процесс происходит на большей части площади сельхозугодий исследованной территории юга Красноярского края.

В основном на исследованной территории значения ЧПП остаются достаточно стабильными за рассмотренный период 2000–2012 гг. Эти территории заняты смешанными лесами с преобладанием лиственных пород и расположенных на высотах, приблизительно до 500–600 м.

Положительная динамика ЧПП за рассмотренный период времени наблюдается только на территории, занятой хвойными видами деревьев. Это горные леса Западного Саяна на высотах 600–1200 м. Данные территории не подвержены массированному антропогенному воздействию, имеют место только вырубки на ограниченных участках. Нужно отметить, что экосистемы на данных высотах более стабильны, здесь произрастают такие хвойные, как кедр и пихта, это одновозрастные леса горно-таежного пояса Западного Саяна. Именно на данных территориях происходил рост значений ЧПП за рассмотренный период времени, таким образом, по сравнению с 2000 г. здесь происходит увеличение депонирования углерода из атмосферы в процессе фотосинтеза.

Если с помощью метода ССА можно проанализировать общую направленность динамики ЧПП за рассмотренный период времени, определить области стабильности, постоянного снижения либо области постоянного повышения значений ЧПП, то с помощью метода STL возможно выделение не только общего тренда за длительный период времени, но и особенностей временной динамики ЧПП в различные годы внутри исследуемого периода времени.

В то же время если изменять ширину окна при работе методом STL, например увеличить ее до 13 лет, то получаются результаты, практически совпадающие с результатами, полученными методом ССА, показывающие общий тренд развития динамики ЧПП за период 2000–2013 гг.

Выводы

Проведенный анализ методов показал, что для декомпозиции временных рядов данных дистанционного зондирования Земли и последующего анализа причин изменений полученных трендов больше подходит метод STL. Этот метод имеет более гибкие настройки и позволяет выявлять краткосрочные циклы в межгодовой динамике ЧПП. Метод ССА не подходит для изучения трендов на коротких временных рядах, однако полезен для прогнозирования и выделения общих тенденций.

Пространственное распределение трендов выявило зоны уменьшения, роста и стабильного поведения ЧПП на исследуемой территории. Можно сделать вывод, что на большей части исследованной территории значения ЧПП остаются достаточно стабильными за рассмотренный период 2000–2012 гг. Снижение значений ЧПП на данной территории произошло на равнинах и на территории предгорий Западного Саяна. Эти площади представляют собой либо сельхозугодия, либо лесостепь на равнинных территориях до 300 м. Именно эти районы наиболее подвержены антропогенному воздействию, и именно они страдают в первую очередь при неблагоприятных погодных условиях, таких как засухи. Положительная динамика ЧПП за рассмотренный период времени наблюдается только на территории горных лесов Западного Саяна, занятой хвойными видами деревьев на высотах 600–1200 м. Эти территории не подвержены массированному антропогенному воздействию.

Работа поддержана программой РАН, проект № 12 «Арктика».

Список литературы

1. Cao M., Prince S.D., Small J., Goetz S.J. Remotely sensed interannual variations and trends in terrestrial net primary productivity 1981–2000 // Ecosystems. – 2004. – Vol. 7. – P. 233–242.

2. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess // Journal of Official Statistics. – 1990. – Vol. 6. – P. 3–73.

3. Golyandina N. and Osipov E. The Caterpillar-CCA method for analysis of time series with missing values // J. of Statist. Plann. Inference. – 2007. – Vol. 137. – P. 2642–2653.

4. Hüttich C., Herold M., Schmullius C., Egorov V., Bartalev S.A. SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998-2005 as indicators of recent land cover change processes in northern Eurasia // Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover. – 2006. – P. 336–344.

5. Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S., Stackhouse P.W. Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations // Global and Planetary Change. – 2007. – Vol. 56, № 3–4. – P. 274–296.

6. Zhao M., Heinsch F.A., Nemani R.R., Running S.W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set // Remote Sensing of Environment. – 2005. – Vol. 95. – P. 164–176.

References

1. Cao M., Prince S.D., Small J., Goetz S.J. Remotely sensed interannual variations and trends in terrestrial net primary productivity 1981–2000 // Ecosystems. 2004. Vol. 7. pp. 233–242.

2. Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess // Journal of Official Statistics. 1990. Vol. 6. pp. 3–73.

3. Golyandina N. and Osipov E. The Caterpillar-SSA method for analysis of time series with missing values // J. of Statist. Plann. Inference. 2007. Vol. 137. pp. 2642–2653.

4. Hüttich C., Herold M., Schmullius C., Egorov V., Bartalev S.A. SPOT-VGT NDVI and NDWI trends 1998-2005 as indicators of recent land cover change processes in northern Eurasia // Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover. 2006. pp. 336–344.

5. Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S., Stackhouse P.W. Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations // Global and Planetary Change. 2007. Vol. 56, no. 3–4. pp. 274–296.

6. Zhao M., Heinsch F.A., Nemani R.R., Running S.W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set // Remote Sensing of Environment. 2005. Vol. 95. pp. 164–176.

Рецензенты:

Сомова Л.А., д.б.н., Институт физики СО РАН, г. Красноярск;

Барцев С.И., д.ф.-м.н., зав. лабораторией теоретической биофизики Института биофизики СО РАН, г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 621.315.592

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА ТЕРМОМИГРАЦИИ В КАЧЕСТВЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ

Лозовский В.Н., Середин Б.М.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: seredinboris@gmail.com

Проведен анализ особенностей эффекта термомиграции как метода локального легирования полупроводниковых кристаллов в сравнении с легированием методом диффузии. Впервые учтены практически все факторы, определяющие и сопровождающие процесс термомиграции жидкого включения в кристалле. Выявлены и описаны геометрические, концентрационные, температурно-временные и другие условия, при которых выбор эффекта термомиграции в качестве метода локального легирования предпочтителен. Выполнено сравнение термомиграционного и диффузионного методов легирования. Показано, что метод термомиграции обладает значительными преимуществами. Он снижает температуру процесса легирования, увеличивает его скорость, повышает однородность распределения легирующей примеси и улучшает кристаллическое совершенство легированных слоёв. Однако по техническим причинам перечисленные преимущества могут использоваться в конкурентной технологии лишь при легировании слоёв, линейный размер сечения которых лежит в пределах 30–150 мкм, а глубина превышает 50 мкм. Количественные оценки, связанные с выявленными условиями, даны на примере системы алюминий – кремний. Для иллюстрации возможностей термомиграции как метода локального легирования при получении конкретных приборных структур проведено сравнение этого метода с альтернативным ему методом диффузии на примере промышленной технологии силовых кремниевых приборов, в разработке которой участвовали авторы.

Ключевые слова: эффект термомиграции, диффузия, легирование, полупроводниковые структуры, силовые кремниевые приборы

THE PHYSICAL ASPECTS OF THE CHOICE OF THERMOMIGRATION AS A LOCAL CRYSTAL DOPING METHOD

Lozovskiy V.N., Seredin B.M.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: seredinboris@gmail.com

The analysis of the features of the thermomigration effect as a local semiconductor crystal doping method have done in comparison to the diffusion doping method. Almost all of the factors defining and accompaning the thermomigration liquid inclusion in the crystal have accounted for the first time. The geometric, concentration, temperature, time and other conditions under which the selection effect thermomigration as a preferred local doping method have identified and described. The comparison the thermomigration and the diffusion doping methods has provided. It is shown that the thermomigration method has significant advantages. It reduces the temperature of the doping process, increases its speed and the homogeneity dopant distribution, improves the crystalline perfection of the doped layers. However, for technical reasons, these benefits can be used in competitive technologies only when the doping layer, the linear dimension of the cross section of which lies in the range of 30 to 150 μm, and the depth more than 50 μm. Quantitative calculations associated with the identified conditions are given in the Al-Si system. To illustrate the capabilities of the thermomigration as a local doping method to the alternative diffusion method we presented the comparison of those methods on the example of the industrial technology power silicon devices technology, which had developed by the authors.

Keywords: thermomigration effect, diffusion, doping, semiconductor structures, silicon power devices

Современная полупроводниковая электроника основана на использовании различных методов локального легирования кристаллов электрически активными примесями. Каждый метод легирования имеет свою нишу предпочтительного применения. В настоящей статье осуществлен анализ особенностей эффекта термомиграции как метода локального легирования полупроводниковых кристаллов и выявлены геометрические, концентрационные, температурно-временные и другие условия, при которых для легирования целесообразно использовать этот эффект. Выполнено сравнение термомиграционного и диффузионного методов легирования. Сравнение метода термомиграции с альтернативным ему методом диффузионного легирования осуществлено также на примере технологии силовых кремниевых тиристоров.

Для анализа фундаментальных аспектов проблемы использован совокупный опыт многолетних физических исследований термомиграции жидких микровключений различной геометрии и состава в кристаллах, накопленный многочисленными исследователями, включая авторов настоящей статьи.

Особенности эффекта термомиграции

При наличии внешнего стационарного градиента температуры G_s в жидком включении устанавливается некоторое

распределение температуры T и возникает её скачок $\Delta T = G\ell$, где G – модуль градиента температуры в жидкой фазе; ℓ – линейный размер включения вдоль вектора **G**. На более нагретой границе включения происходит непрерывное растворение твёрдой фазы. В объеме включения растворённое вещество диффундирует к более холодной границе, где кристаллизуется. Кристаллизующиеся слои содержат атомы, входящие в состав вещества включения. Так происходит локальное легирование кристалла при миграции в нём включения. Геометрия легированных слоёв определяется конфигурацией включения и его траектории. Используются микровключения, ограниченные в трёх измерениях (точечные включения), в двух измерениях (линейные) и их комбинации (например, включения в виде плоской сетки). Важно отметить, что перекристаллизованные слои очищаются от тех примесей (первоначально входивших в кристалл), коэффициенты распределения которых меньше единицы. Кроме того, кристаллизация твёрдой фазы при термомиграции протекает в изотермических и равновесных условиях, при весьма малом кристаллизационном переохлаждении в жидкой фазе. Поэтому перекристаллизованные методом термомиграции области обычно имеют улучшенную кристаллическую структуру. Диффузионное легирование сопровождается, как правило, ухудшением кристаллической структуры легированных областей и возникновением термических дефектов.

На термомиграцию жидкого включения в твёрдом теле влияет (помимо градиента температуры **G**) достаточно много различных процессов и факторов [1].

1. Растворение кристалла на более нагретой межфазной границе.
2. Диффузия атомов растворенного вещества в объеме жидкой фазы.
3. Их кристаллизация на более холодной стороне включения.
4. Испарение вещества жидкой фазы.
5. Проявление порогового эффекта межфазных процессов.
6. Присутствие в жидкой фазе инородных микровключений.
7. Проявление движущей силы, связанной с различием концентрации примесных атомов и/или структурных дефектов в растворяющемся и кристаллизующемся слоях.
8. Термодиффузия (эффект Соре).
9. Тепловые эффекты на межфазных границах движущегося жидкого включения.
10. Диффузия вакансий и атомов ростового вещества по границам включения.
11. Неравенство теплопроводностей сопрягающихся жидкой и твёрдой фаз.
12. Нестабильности формы включения.
13. Нестабильности траектории движения включения.
14. Анизотропия кристалла.
15. Особенности процесса погружения включения в кристалла.
16. Особенности процесса выхода жидкой фазы из кристалл.
17. Эффект кристаллизационного оттеснения чужеродных атомов кристаллизующейся границей мигрирующего включения.

Условия предпочтительного использования термомиграции для локального легирования кристаллов не могут быть выявлены без адекватного учёта перечисленных факторов. Такой учёт пока никем не осуществлен. Следующие разделы настоящей статьи посвящены попытке учесть влияние перечисленных выше факторов на развитие технологического потенциала метода термомиграции в производстве полупроводниковых приборных структур.

Закономерности термомиграции жидких включений в кристаллах

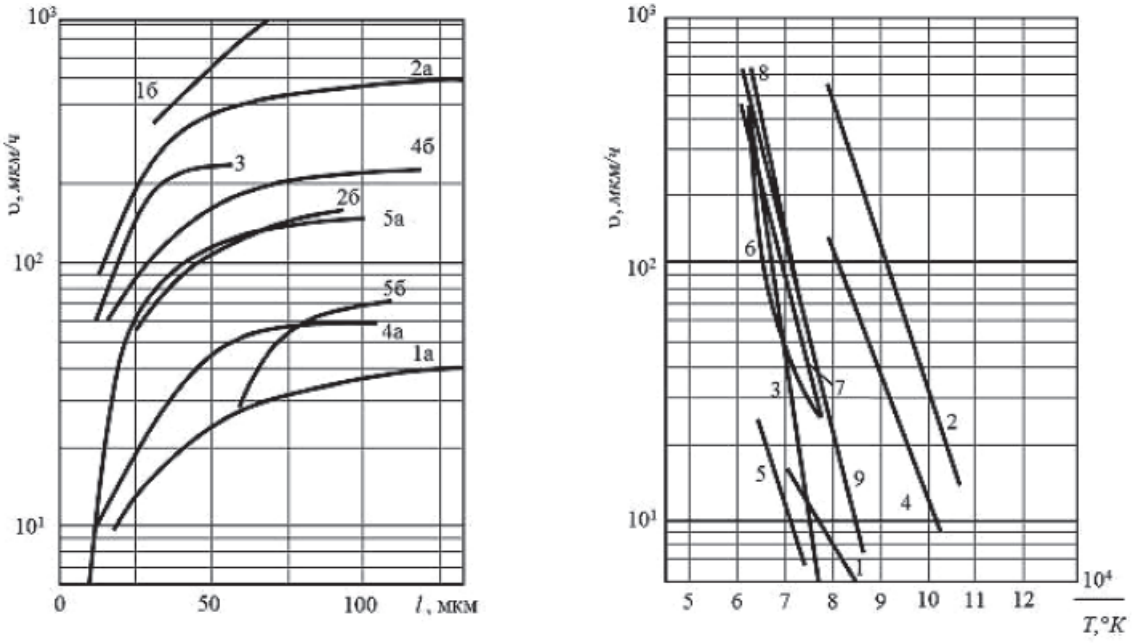
Для выявления условий предпочтительного использования термомиграции в качестве метода локального легирования необходимо знать в первую очередь зависимость скорости термомиграции жидкого включения υ от его толщины ℓ и температуры T. Эти же зависимости используются при отработке температурно-временных режимов легирования. Для оптимизации указанных выше условий и режимов должны быть учтены перечисленные в п. 1 факторы.

Основные особенности зависимости скорости термомиграции жидкого включения от его толщины и температур определяются факторами (1)–(3). На рис. 1 приведены примеры экспериментальных зависимостей $\upsilon(\ell)$ и $\upsilon(T)$ для некоторых систем [1]. На рис. 1, а видно, что с увеличением толщины зоны скорость её миграции увеличивается, стремясь к насыщению. Такая зависимость $\upsilon(\ell)$ присуща включениям любой конфигурации, если не проявляются факторы 4–7, 9, 10 и 12. На рис. 1, б приведены характерные зависимости скорости миграции жидкой зоны от температуры в координатах ($\ln\upsilon; 1/T$) для различных систем при некоторых фиксированных значениях толщины слоя жидкой фазы и градиента температуры.

На рис. 1 видно, что скорости легирования методом термомиграции зависят от состава включения, экспоненциально изменяются с температурой и могут достигать многих сотен, а при высоких температурах и тысяч микрометров в час. Это значительно выше скорости легирования диффузией.

Большие скорости при термомиграции могут снижать воспроизводимость глубины легирования, что накладывает ограничение сверху на температуру термомиграции (T_{max}) при её использовании в технологии легирования. Имеется и нижний предел температуры (T_{min}). При $T < T_{min}$ процесс термомиграции не возникает, даже если вещество включения перешло в жидкое состояние. Обычно это является следствием проявления фактора 6.

соответственно; D – коэффициент диффузии атомов ростового вещества в жидкой фазе, $\ell_к$ – минимальная толщина включения ℓ, при которой оно может мигрировать в кристалле при заданных значениях температуры и её градиента G (неравенство нулю величины $\ell_к$ отражает проявление фактора 5), C_0 – концентрация ростового вещества в эпитаксиальном слое, C – средняя концентрация ростового вещества в жидкой фазе,



а б

Рис. 1. Зависимости скорости миграции зон для различных систем от толщины слоя жидкой фазы при фиксированной температуре (а) и от температуры при фиксированной толщине (б): 1 – Si-Sn: 1а – 950 °C, 1б – 1200 °C; 2 – Si-Al: 2а – 1100 °C, 2б – 950 °C; 3 – Si-Au, 1250 °C; 4 – Si-Sn-Al, 800 °C: 4а – исходный состав зоны 80 % Sn + 20 % Al; 4б – 20 % Sn + 80 Al; 5 – Si-Ag: 5а – 1300 °C, 5б – 1150 °C; 6 – Si-Pt; 7 – Si-Pd; 8 – Si-Ni; 9 – Si-Cu

Аналитическое выражение, описывающее зависимости $\upsilon(\ell)$ и $\upsilon(T)$ с учётом большинства рассмотренных ранее факторов, известно [1]. Если не учитывать проявление факторов 4, 6–10 и 12–14, то выражение для зависимости $\upsilon(\ell)$ упрощается до формулы (1), оставаясь достаточно эффективным инструментом дальнейшего анализа:

$$\upsilon = \frac{G(\ell - \ell_к)}{\rho_р + \rho_D + \rho_к}, \qquad (1)$$

где $\rho_D = \frac{(\ell - \ell_к)(C_0 - C)}{D}\frac{dT}{dC}$, $\rho_р$, $\rho_к$ – величины, характеризующие ограничения термомиграции, связанные с процессом диффузии ростового вещества в жидкой зоне (ρ_D) и процессами его растворения и кристаллизации на её межфазных границах – ($\rho_р$) и ($\rho_к$)

dC/dT – величина, равная котангенсу угла наклона линии ликвидус используемой бинарной системы при заданной температуре.

Формула (1) может использоваться для значений $\ell \geq \ell_к$. Если $\ell = \ell_к$, то $\upsilon = 0$, т.е. процесс термомиграции не возникает. Наличие «порогового эффекта» физически означает, что межфазные процессы при термомиграции могут проявиться лишь при увеличении скачков температуры на границах растворения и/или кристаллизации ($\Delta T_р$ и $\Delta T_к$) до значений, больше некоторых критических $(\Delta T_р)_{кр}$ и $(\Delta T_к)_{кр}$. Пороговый эффект – одна из важных причин принципиальной невозможности воспроизводимо создавать методом термомиграции локальные легированные области, сечение которых было бы менее нескольких микрон. Примерно при тех же размерах зон возрастает

влияние анизотропии кристалла и дефектов в нём на стабильность миграции жидких зон. Перечисленные факторы не позволяют обеспечить воспроизводимое легирование областей кристалла, размер которых менее некоторого критического, зависящего от используемой системы и условий проведения термомиграции.

На рис. 2 зависимость $\upsilon(\ell)$, выраженная формулой (1), графически представлена сплошной кривой. Изменение вида этой кривой с изменением температуры и её градиента изображены соответственно пунктирными и штрихпунктирной кривыми.

то увеличение скорости υ с увеличением ℓ сменяется её уменьшением. Ухудшается также воспроизводимость скорости. Кроме того, испарение из жидкой фазы инициирует нестабильность процесса погружения включения со стартовой поверхности в кристалл и выхода из кристалла на его противоположной стороне. Устранить испарение можно полным погружением включения в кристалл или снижением температуры термомиграции. Предпочтителен второй приём, так как первый чреват увеличением дефектности перекристаллизованных слоёв из-за неравенства термических

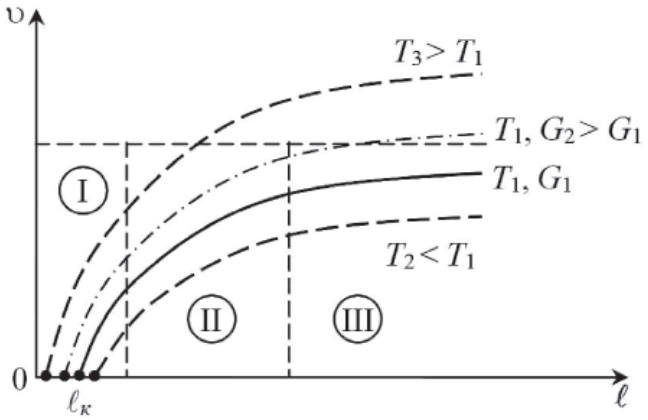


Рис. 2. Схематическое представление зависимости скорости термомиграции от толщины включения (пояснения в тексте)

Из формулы (1) следует, что зависимость $\upsilon(\ell)$ можно разделить на три части. На рис. 2 это области I, II и III. Первая область соответствует случаю, когда скорость термомиграции лимитируется межфазными кинетическими процессами. Этот случай относится к малым толщинам жидкой зоны ℓ, когда величины $\rho_р$ и $\rho_к$. больше ρ_D. При достаточно малых толщинах зоны скорость её миграции мала и чувствительна к изменениям ℓ. Использовать область I в технологии локального легирования методом термомиграции нецелесообразно. Для этой цели предпочтительнее использовать диффузионный режим термомиграции (область III). В этом случае $\rho_D > \rho_р + \rho_к$, т.е. процесс движения включения лимитируется диффузионным массопереносом ростового вещества в жидкой фазе. Может быть использован также режим, для которого $\rho_D \gg \rho_р + \rho_к$ (область II).

Испарение компонентов жидкой фазы (фактор 4) может существенно изменить характер зависимостей $\upsilon(\ell)$ и $\upsilon(T)$. Например, если из жидкого включения испаряется растворённое в нём ростовое вещество, коэффициентов расширения жидкой фазы включения и кристалла. Фактор 5 (который может быть связан с факторами 6 и 14) определяет предел минимальной толщины включения ($\ell = \ell_к$), которое может мигрировать в кристалле при заданных значениях температуры и её градиента **G**. Фактор 7 увеличивает скорость миграции включения и её нестабильность при малых толщинах ℓ (левая часть области I). Это – ещё одна причина неиспользования тонких включений в технологии легирования методом термомиграции. Фактор 12 влияет на воспроизводимость сечения легированной области. Поэтому все стадии термомиграционной технологии локального легирования кристаллов должны обеспечивать стабильность формы включения, что вполне достижимо. Эффект Соре (фактор 8) практически не вносит заметного вклада в скорость миграции включения. Тепловыделение и теплопоглощение на границах движущегося включения (фактор 9) снижают скачок температуры в жидкой фазе и скорость миграции. Этот эффект становится значимым лишь при скоростях, существенно больших

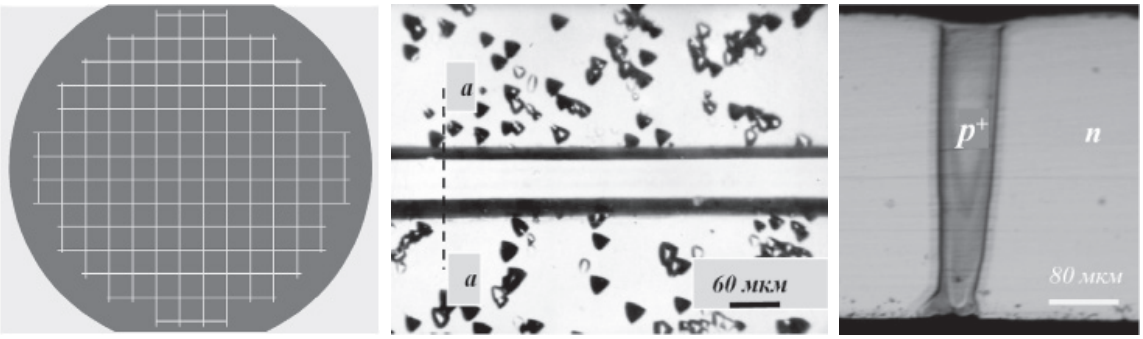
1000 мкм/ч. Однако такие скорости, как показано в п. 2, нецелесообразно использовать при термомиграционном легировании. Поверхностная (межфазная) диффузия вакансий и атомов ростового вещества в приграничных слоях включения (фактор 10) проявляется при столь малых его размерах ℓ, при которых вклад поверхностной диффузии в общий массоперенос во включении, вызванный градиентом концентрации ростового вещества, соизмерим с вкладом объёмной диффузии. Однако указанная ситуация наступает при $\ell < \ell_к$, когда процесс термомиграции в принципе не осуществим. Увеличение теплопроводности включения приводит к уменьшению его скорости (фактор 11). Этот эффект мал и не может использоваться для технологически значимого регулирования скорости миграции включения. Проявление нестабильности формы мигрирующего жидкого включения и его траектории (факторы 12 и 13) создает основные проблемы при разработке способов использования термомиграции для различных целей. Эти проблемы частично связаны с проявлением анизотропии скорости растворения кристаллов в жидкой фазе (фактор 14). Этапы погружения включения в кристалл и выхода из него жидкой фазы (факторы 15 и 16) неразрывно связаны с эффектом термомиграции и должны включаться в виде отдельных стадий в термомиграционную технологию локального легирования полупроводников (см. п. 3). Это обстоятельство усложняет указанную технологию.

Предельный уровень равновесного легирования кристалла при термомиграции двухкомпонентного включения задаётся соответствующим участком линии солидус используемой системы. При необходимости уменьшить концентрацию вводимой электрически активной примеси следует использовать разбавление вещества включения третьим (электрически неактивным) элементом. Например, для кремний-алюминиевого включения это может быть олово. Следует учитывать, однако, что введение третьего компонента может существенно изменить скорость термомиграции включения. Так, олово уменьшает скорость движения кремний-алюминиевой зоны в разы (см. рис. 1, а, кривые 4а и 4б).

Пока не создана технология термомиграционного локального легирования кристаллов, в которой было бы оптимизировано влияние перечисленных выше факторов на процесс термомиграции. Поэтому резервы термомиграции как метода легирования кристаллов ещё не исчерпаны.

Сравнение термомиграционного и диффузионного методов легирования

Демонстрация конкретных особенностей термомиграционного метода локального легирования и его сравнение с диффузионным методом выполнена на примере технологии силовых полупроводниковых приборов (СПП) на кремнии [2–7]. В производстве СПП указанные методы конкурируют при формировании так называемых разделительных p^+-областей. Назначение разделительных p^+-областей – увеличить пробивное напряжение высоковольтных p-n-переходов СПП. Разделительные p^+-области должны пронизывать насквозь кремниевую пластину n-типа, образуя в ней ячейки, одинаковые по своим планарным размерам. На рис. 3, а приведен пример одностенных квадратных ячеек для силовых кремниевых тиристоров на токи до 100 А, технология которых разрабатывалась с участием авторов статьи [2, 6, 7]. Система ячеек получена миграцией перпендикулярно плоскости пластины жидкого кремний-алюминиевого включения в форме плоской сетки.



а б в

Рис. 3. Вид поверхности кремниевой пластины с p^+-областями в виде одностенной сетки (а), микрофотографии шлифов финишной поверхности (б) и сечения «а-а» разделительной p^+-области (в); p^+-области получены методом термомиграции

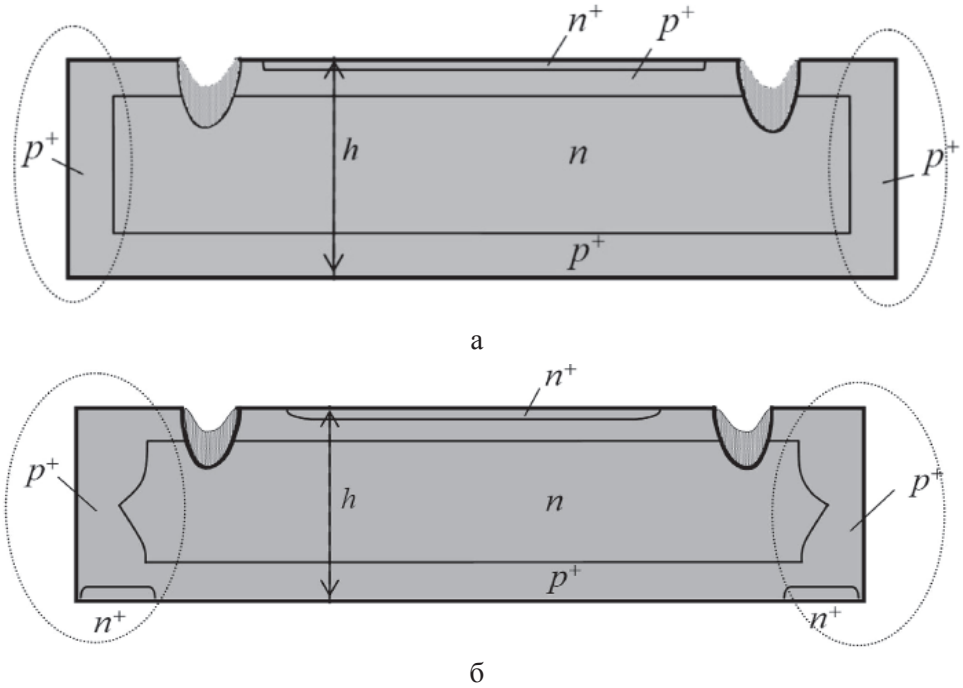


Рис. 4. Схематическое представление разделительных p^+-областей в составе силового тиристора, полученных термомиграцией (а) и двусторонней диффузией (б)

Заданная ширина разделительных p^+-областей обеспечивается литографией сплошного слоя SiO_2, нанесённого на пластину кремния. В слое SiO_2 формируются окна требуемой конфигурации, через которые в кристалл либо погружается жидкий алюминий (термомиграционный метод), либо диффундируют атомы акцептора – обычно бора (диффузионный метод). Разделительные p^+-области, образующиеся при использовании термомиграции, примерно однородны по концентрации акцепторов (~ 2 10^{19} см$^{-3}$) и по толщине (см. рис. 3, в – шлиф). Концентрация дислокаций в этих областях обычно не превышает таковую в исходной кремниевой пластине (см. рис. 3, б). Аналогичные диффузионные области резко неоднородны по концентрации акцепторов и по толщине (см. рис. 4, б), имеют повышенную дефектность (требуется дополнительное применение геттера n^+ на аноде). Расположение разделительных p^+-областей в структуре силового тиристора показано на рис. 4 (p^+-области выделены пунктирными овалами).

Если толщина пластины равна h, то такой же путь проходит при термомиграции легирующее включение. Если сквозные разделительные p^+-области получены двусторонней диффузией, то глубина диффузии равна $h/2$. Глубина проникновения диффундирующих атомов в кристалл h_D обычно оценивается (по порядку величины) соотношением $h_D = \sqrt{D_s t}$, где D_s – коэффициент диффузии рассматриваемых атомов в кристалле, t – время диффузии. Если $h_D = h/2$, то время диффузионного формирования разделительной p^+-области (t_D) определится соотношением

$$t_D = h^2 / 4D_S . \qquad (2)$$

В технологии, основанной на легировании кремния методом термомиграции, обычно используется диффузионный режим, когда $\rho_р + \rho_к < \rho_D$ (области III на рис. 2). Поэтому из формулы (1) можно получить следующее выражение для времени термомиграционного легирования h_T:

$$h_T = \upsilon t = tD_L G_L \left[\left(\frac{dC}{dT} \right) \Big/ \left(C_0 - C \right) \right]. \qquad (3)$$

Используя выражения (2) и (3), можно оценить отношение времени t_D получения разделительных слоёв, выполненных на пластинах кремния (толщиной h), методом диффузии и методом термомиграции t_T:

$$t_D / t_T = hG_L \left(\frac{D_L}{D_S} \right) \left[\frac{dC/dT}{C_0 - C} \right]. \qquad (4)$$

В соотношении (4) множитель при h измеряется в обратных линейных единицах (например, мкм$^{-1}$) и всегда гораздо больше

единицы. Последнее связано с тем, что коэффициент диффузии в жидкой фазе много больше коэффициента диффузии в кристалле. В качестве примера сравним отношение t_D/t_T для двух вариантов реальной технологии кремниевых тиристоров, в которых разделительные слои получаются либо диффузией бора (за время t_D, при 1300 °C), либо термомиграцией алюминия (за время t_T, при 1170 °C и градиенте температуры G_L = 10 град/см). Конечный результат расчёта по формуле (4) может быть представлен (по порядку величины) в виде

$$t_D / t_T \approx h, \qquad (5)$$

где h – измеряется в микрометрах. Из соотношения (5) следует, что для легирования слоёв кремния толщиной 1 мкм величина t_D / t_T по порядку величины равна единице, то есть требуется примерно одинаковое время как для диффузии бора (при 1300 °C), так и для термомиграции алюминиевых зон (при 1170 °C). Если же h = 350 мкм, что соответствует существующей технологии, то время диффузионного легирования бором слоя кремния указанной толщины в 350 раз превышает время легирования такого же слоя алюминием методом термомиграции. Этот результат находится в удовлетворительном согласии с соотношением скоростей получения разделительных p^+-слоёв для кремниевых СПП приборов методами диффузии и термомиграции в реальном технологическом процессе.

Таким образом, использование термомиграционного метода легирования вместо диффузионного позволяет создавать более эффективную технологию локального легирования полупроводниковых кристаллов. Данное преимущество термомиграционного метода ярко выражено для достаточно протяженных областей легирования и теряется при глубинах легирования примерно менее 50 мкм. Это ограничение связано не только с соотношением (4). Свой вклад в ограничение размеров области локального легирования вносят, как указывалось ранее, факторы 5, 6, 12 и 13, а также фактор 15. Роль последнего фактора не обсуждалась. Однако она очевидна – процесс погружения жидкого образования внутрь кристалла не может не нарушать поверхностных слоёв в зоне погружения. Размер этой зоны соизмерим с первоначальным объёмом жидкой фазы и нарушенные ею поверхностные слои для ряда приборных структур должны удаляться, что всегда усложняет технологию.

Заключение

Термомиграция жидких включений, подобно диффузии, может служить достаточно эффективным методом локального легирования кристаллов электрически активными примесями и позволяет создавать разнообразные приборные полупроводниковые структуры.

К преимуществам термомиграционного легирования относятся: доступность сравнительно низких температур и высоких скоростей легирования, практическая неограниченность глубины легированной области, однородность распределения в ней концентрации примесного элемента, высокое совершенство легированной области, возникновение качественных (ростовых) *p-n*-переходов. Недостатки термомиграционного метода: ограниченность минимальной глубины легирования (примерно 50 микрометрами), методические трудности, возникающие при легировании примесями с высокой (в условиях термомиграции) летучестью, наличие дополнительной, технологически значимой стадии – погружение жидкого включения в объём кристалла с его поверхности, необходимость устранять нестабильности процесса термомиграции.

Термомиграция в кристалле жидких включений определяется и сопровождается значительно большим количеством процессов и факторов, чем диффузия. Их влияние на результаты локального легирования кристаллов методом термомиграции исследовано ещё недостаточно. Между тем именно эти процессы и факторы определяют условия предпочтительного применения термомиграционного легирования и обеспечивают данному методу перечисленные выше преимущества. Поэтому в отличие от диффузионного легирования резервы дальнейшей оптимизации метода термомиграционного легирования пока не исчерпаны. Ряд авторов продолжают эту работу [5–8].

Список литературы

1. Лозовский В.Н., Лунин Л.С., Попов В.П. Зонная перекристаллизация градиентом температуры полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1987. – 232 с.

2. Полухин А.С., Балюк А.В., Середин Л.М., Середин Б.М. Структуры с разделенными p^+-областями для силовых полупроводниковых приборов на токи до 100 А // Кристаллизация и свойства кристаллов: межвуз. сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Набла, 2003. – С. 120–124.

3. Полухин А.С., Зуева Т.К., Солодовник А.И. Использование термомиграции в технологии структур силовых полупроводниковых приборов // Силовая электроника. – 2006. – № 3(9). – С. 110–112.

4. Полухин А.С. Термомиграция неориентированных линейных зон в кремниевых пластинах (100) для производства чипов силовых полупроводниковых приборов // Компоненты и технологии. – 2008. – № 11. – С. 97–100.

5. Полухин А.С. Анализ технологических факторов процесса термомиграции // Силовая электроника. – 2013. – № 5(9). – С. 118–120.

6. Середин Л.М. Середин Б.М., Князев С.Ю. Исследование причин невоспроизводимого формирования дискретных зон избирательным смачиванием // Изв. вузов. Сев. Кав. регион. Технические науки, 2014. – Вып. 1(176). – С. 125–130.

7. Середин Б.М. Исследование кинетики термомиграции при введении добавок Ga в зонообразующий материал Si-Al. // Изв. вузов. Сев. Кав. регион. Технические науки. – 2014. – Вып. 1(176). – С. 103–109.

8. Benjamin Morillon. Etude de la thermomigration de l'aluminium dans le silicium pour la réalisation industrielle de murs d'isolation dans les composants de puissance bidirectionnels. Micro and nanotechnologies / Microelectronics. INSA de Toulouse, 2002, 222p. URL: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010945. (accessed 5 November 2014)

References

1. Lozovskiy V.N., Lunin L.S.,. Popov V.P. *Zonnaja perekristallizacija gradientom temperatury poluprovodnikovyh materialov* [Temperature-gradient zone recrystallization of semiconductor materials]. Moscow, Metallurgy, 1987. 232 p.

2. Poluhin A.S., Baljuk A.V., Seredin L.M., Seredin B.M. *Struktury s razdelennymi p^+-oblastjami dlja silovyh poluprovodnikovyh priborov na toki do 100 A* [Structure with separated p^+-regions for semiconductor power devices at currents more than 100 A]. Cristallization and Properties Crystalls, Novocherkassk: South-Rus. state techn. Univ., Nabla, 2003. pp. 120–124.

3. Poluhin A.S., Zueva T.K., Solodovnik A.I. *Ispol'zovanie termomigracii v tehnologii struktur silovyh poluprovodnikovyh priborov* [Using thermomigration in technology structures of power semiconductor devices]. Power Electronics, 2006, Vol. 3, pp. 110–112.

4. Poluhin A.S. *Termomigracija neorientirovannyh linejnyh zon v kremnievyh plastinah (100) dlja proizvodstva chipov silovyh poluprovodnikovyh priborov* [On the non-oriented linear zones thermomigration through (100) silicon wafers for power devices fabrication]. Components and technologies, 2008, Vol. 11, pp. 97–100.

5. Poluhin A.S. *Analiz tehnologicheskih faktorov processa termomigracii* [Analysis of the technological factors of the thermomigration process]. Power Electronics, 2013, no. 5. pp. 118–120.

6. Seredin L.M., Seredin B.M., Knjazev S.Ju. *Issledovanie prichin nevosproizvodimogo formirovanija diskretnyh zon izbiratel'nym smachivaniem*.[The study of reasons for non-reproducible generation of discrete zones election wetting]. Izv. vuzov. Sev. Kav. region. Tehnical Scienes, 2014, Vol. 1. pp. 125–130.

7. Seredin B.M. Issledovanie kineniki termomigracii pri vvedenii dobavok Ga v zonoobrazujushhij material Si-Al [The study of kinetics of the thermomigration with the introduction of additives in Ga shoobridge material Si-Al.]. Izv. vuzov. Sev. Kav. region. Tehnical Scienes, 2014, Vol. 3. pp. 103–109.

8. Benjamin Morillon. Etude de la thermomigration de l'aluminium dans le silicium pour la réalisation industrielle de murs d'isolation dans les composants de puissance bidirectionnels. Micro and nanotechnologies/Microelectronics. INSA de Toulouse, 2002, 222 p. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010945 (accessed 5 November 2014).

Рецензенты:

Лунин Л.С., д.ф.-м.н., профессор, заведующий отделом, ФГБУН «Южный научный центр» Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону;

Сысоев И.А., д.т.н., доцент, директор научно-образовательного центра фотовольтаики и нанотехнологии, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК (658.5.012.1)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОСТИ ПРОДУКЦИИ

Назаревич С.А.

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, e-mail: albus87@inbox.ru

В статье представлены основные аспекты инновационности свойств новой продукции в отношении к существующим конкурентным аналогам. Разработаны подходы к оцениванию технического уровня продукции предприятий, основанные на критериях отнесения продукции, товаров и услуг к инновационным товарам. Представлена методика оценивания инновационности свойств продукции предприятий, учитывающая количественные и качественные характеристики новой продукции в отношении к существующим конкурентным аналогам. Оценка отражает разрыв технических характеристик в процентном отношении как к существующим аналогам, так и действующему эталону в рассматриваемой области. Методика целесообразна к использованию в процессах оценки новизны и конкурентоспособности новой и текущей продукции, а также рекомендована к применению при решении вопросов определения инновационности свойств новой продукции.

Ключевые слова: инновация, новшество, технический уровень, оценка

ASSESSMENT METHODOLOGY INNOVATIVE PRODUCTS

Nazarevich S.A.

State Educational Institution «Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation», St. Petersburg, e-mail: albus87@inbox.ru

The article presents the main aspects of the innovative features of the new product in relation to the existing competitive counterparts. The approaches to the evaluation of the technical level of production of the enterprises based on the criteria of classification of products, goods and services to innovative products. The technique of estimating the properties of the product innovativeness of enterprises, taking into account both quantitative and qualitative characteristics of the new product in relation to the existing competitive counterparts. Rating reflects the gap specifications in percentage terms, as there is an analogy, and the current benchmark in this area. The technique is suitable for use in the assessment processes of innovation and competitiveness of new and current products, and is recommended for use in dealing with the definition of the innovative features of the new products.

Keywords: innovation, innovation, technological level, assessment

Инновация – достаточно сложное и популярное понятие, которое одновременно несет в своем содержании генератору идей признаки научной новизны и рыночной монополии. Фундамент инновации [3] закладывается исходя из потенциала технического объекта, над которым проводятся исследования. Однако достоверная оценка факторов инновационности зависит не столько от коммерческой составляющей проекта или экономического потенциала объекта исследований, сколько от технической новизны в сравнении с конкурентами и признанным эталоном в рассматриваемой отрасли. Техническая новизна [5], как правило, определяется техническим уровнем разрабатываемой и существующей производственной продукции в соответствии с современными потребностями рынка.

Постановка задачи. В условиях становления инновационной экономики необходимо обратить внимание на проблемы идентификации внутренней сущности разрабатываемой продукции – новшества [3]. Производственная продукция отечественных предприятий в советские годы планировалась к производству с огромным внутренним потенциалом для последующих множественных модификаций и модернизаций, тем самым на стадиях предпроизводственной подготовки закладывался потенциал для разнородной и многофункциональной продукции на долгие десять-двадцать лет. Современные реалии требуют от производителей оперативности и гибкости в производстве высококонкурентной продукции и патентной безопасности по отношению к сильнейшим конкурентам.

Практическое решение. Исследование внутренней сущности новшества заключается в проведении анализа технического уровня и осуществляется исходя из содержания нормативно-технических документов, описывающих систему показателей качества ближайшего аналога. Смысл процедуры оценки технического уровня новшества заключается в сопоставлении характеристик исследуемого новшества с базовыми образцами продукции, аналогами, как отечественными, так и зарубежными.

Применение подходов в области оценки технического уровня продукции регламентирует стандарт ГОСТ 2.116–84 «Карта

технического уровня и качества продукции», но документ требует актуализации и пересмотра некоторых основных пунктов [5]. Для оценки технического уровня используется методика, приведенная в [4], где представлена общая схема проведения анализа конкурентоспособности объекта по показателям технического уровня на любом этапе жизненного цикла. В табл. 1 представлен пример анализа технического уровня новой продукции с ближайшим аналогом, была добавлена графа сравнения технических характеристик с общепринятым эталоном в рассматриваемой отрасли. Объектом анализа является установка для автономного выращивания растительных культур и ее ближайший конкурентный аналог. Также представлен эталон продукции в данной отрасли, к которому стремится отрасль.

Анализ технического уровня происходит в соответствии с оценкой показателей, формирующих внутреннюю сущность объекта:

$$\text{ПТУН} = \frac{\sum P_{\text{н}}}{\sum P_{\text{к}}}, \qquad (1)$$

где ПТУН – показатель технического уровня новшества; $P_{\text{н}}$ – показатели качества новшества; $P_{\text{к}}$ – показатели качества конкурента-аналога.

Отклонение показателей исследуемого объекта от показателей аналога в процентном соотношении дает возможность оценить критические направления в развитии предприятия. А также подвергнуть корректировке стратегию развития предприятия как в техническом, так и технологическом аспекте по отношению к существующим на рынке конкурентам и признанным эталонам в профессиональной деятельности предприятия.

Таблица 1

Анализ технического уровня для проекта

Характеристики	Новшество	Конкурент	Отклонение показателей от аналогов, %	Эталонный объект	Отклонение показателей от эталона, %
	СВУВР	УВРГ			
Показатели назначения	$P_{\text{н}}$	$P_{\text{к}}$	$D_{\text{аналог}}$	$P_{\text{эталон}}$	$D_{\text{эталон}}$
1. Полезная площадь, м^2	1,5	4	–65,5	4	–62,5
2. Урожайность томата, кг/м^2	20	20	0	30	–33,3
3. Зеленных культур, кг/м^2	7	3	+33,3	10	–30
4. Вегетационный период растений, сутки:					
– томата от всходов	80	90	+11,2	60	–33
– зеленных культур	35	50	+30	40	+12,5
5. Себестоимость производства, руб./кг					
– томата	90	80	–12,5	60	+50
– зеленных культур	100	90	–11,1	70	+42,8
Показатели конструкции					
6. Длина, мм	1650	3000	+45	2500	–34
7. Ширина, мм	1300	1500	+13,3	2000	–35
8. Высота, мм	2400	2000	–20	2000	+20
Показатели надежности					
9. Продолжительность горения, ч	15000	10000	+50	12000	+25
Показатели экологичности					
10. Содержание вредных веществ в лампе: ртуть, мг	50	100	+50	0	0
Показатели экономичности					
11. Электрическая мощность, на 1 м, кВт	0,4	0,8	+50	0,2	–100
Показатели эргономичности					
12. Использование автоматизации	1	0	+100	1	0
13. Использование механизации	1	0	+100	1	0

Таблица 2

Интервальная шкала оценки технического уровня

0 < ПТУН < 0,1	Крайне низкий технический уровень
0,1 < ПТУН < 0,2	Очень низкий технический уровень
0,2 < ПТУН < 0,5	Низкий технический уровень
0,5 < ПТУН < 0,8	Умеренный технический уровень
1 < ПТУН < 3	Нормальный технический уровень
3 < ПТУН < 6	Высокий технический уровень
6 < ПТУН < 10	Очень высокий технический уровень

Таблица 3

Анализ улучшения характеристик

Характеристики	Новшество	Конкурент	Улучшение, %
	СВУВР	УВРГ	
Показатели назначения	$P_н$	$P_к$	$D_{аналог}$
1. Зеленных культур, кг/м^2	7	3	+33,3
2. Вегетационный период растений, сутки:			
– томата от всходов	80	90	+11,2
– зеленных культур	35	50	+30
Показатели конструкции			
3. Длина, мм	1650	3000	+45
4. Ширина, мм	1300	1500	+13,3
Показатели надежности			
5. **Средняя продолжительность горения, час.**	15000	10000	+50
Показатели экологичности			
6. Содержание вредных веществ в лампе: ртуть, мг	50	100	+50
Показатели экономичности			
7. Электрическая мощность, на 1 м, кВт	0,4	0,8	+50
Показатели эргономичности			
8. Использование автоматизации	1	0	+100
9. Использование механизации	1	0	+100
Среднее:			**48,28**

Общие принципы, описываемые в методике [4], послужили основанием для модификации приведенной формы оценки технического уровня (табл. 2, 3).

Результат модификации выражен в формировании новой графы, где указываются в процентном отношении изменения технических характеристик новшества с аналогом.

Были выбраны усовершенствованные технические характеристики и получено отношение к общим техническим характеристикам (табл. 4), это значение характеризует количественные изменения, вносимые в продукцию [6].

Численное значение (48,28 %) отражает изменение девяти основных технических характеристик в лучшую по сравнению с конкурентом сторону. Следовательно, результат изменений в степени прогрессивности новшества [8, 1] определен как (табл. 4): (0,4 – Улучшение основных характеристик объекта нововведения) и создаваемый социальный эффект: (0,4 – Обеспечение социальных требований (стандартов)).

$$\text{ИннУр} = \sum_{i=1}^{4} I_{1i} = I_{11} + I_{12} + I_{13} + I_{14}. \quad (2)$$

Учитывая интервальную шкалу (табл. 4), инновационный уровень [7] исследуемой продукции – **2,3**. Значение находится в интервале 2 > Инн. Ур > 5 (Улучшающая инновация [9]). С технической стороны продукция является улучшающей инновацией (табл. 5).

Таблица 4

Анализ инновационности характеристик продукции

Наименования изменений характеристик продукции (I_{1i})	Технические характеристики	Формула	Результат	Результат
Количество усовершенствованных технических характеристик (I_{11})	Урожайность растений томата, кг/м^2 Вегетационный период растений, сутки Длина, мм Ширина, мм Высота, мм Средняя продолжительность горения лампы, ч Электрическая мощность Использование автоматизации Использование механизации	$I_{11} = \frac{P_{\text{ус.тех.показ}}}{P_{\text{общ.тех.показ}}}$	$I_{13} = \frac{9}{12} = 0{,}75$*	75 %
Количество усовершенствованных потребительских характеристик (I_{12})	Урожайность растений томата, кг/м^2 Вегетационный период растений, сутки Длина, мм Ширина, мм Высота, мм Средняя продолжительность горения лампы, ч Электрическая мощность, на 1 м, кВт Использование автоматизации Использование механизации	$I_{12} = \frac{P_{\text{ус.тех.показ}}}{P_{\text{общ.тех.показ}}}$	$I_{13} = \frac{9}{12} = 0{,}75$	75 %

Характеристика результатов изменений	**Качество характеристик**						
	0,2		**0,4**	**0,7**	**0,8**	**1**	**2**
Степень прогрессивности новшества (I_{13})	Улучшение второстепенных характеристик объекта нововведения		Улучшение основных характеристик объекта нововведения	Существенное превышение основных характеристик объекта	Значительное превышение основных характеристик объекта нововведения	Достижение качественно новых характеристик	Получение новой продукции, впервые освоенной в народном хозяйстве
Создаваемый социальный эффект (I_{14})	Недостижение социальных требований (стандартов)	Обеспечение отдельных социальных требований	Обеспечение социальных требований (стандартов)	Улучшение предусмотренных нормами отдельных социальных требований	Улучшение всего комплекса норм	Значительное превышение уровня социальных требований	Превышение мирового уровня социальных требований

Примечание. Показатель себестоимости продукции не учитывается.

Отклонение показателей исследуемого объекта от аналога, %

Таблица 5

Шкала оценки инновационности продукции

Интервал	Качество интервала
0 > Инн.Ур > 0,5	Псевдоинновация
0,5 > Инн.Ур > 2	
2 > Инн.Ур > 5	Улучшающая инновация
5 > Инн.Ур > 8	
8 > Инн.Ур > 10	Базисная инновация

Заключение

Методика предназначена для выявления инновационного и технического уровня как новой, так и текущей продукции. Целесообразно использовать данные подходы в процессах оценки потенциала новой, инновационной, наукоемкой продукции, а также осуществлять мониторинг и анализ деятельности отделов разработки и планирования постановки на производство новой продукции.

Список литературы

1. Белоусов В.И. О критериях оценки значимости нововведений. Управление инновационными процессами // Инновационный Вестник Регион. ИнВестРегион. – Воронеж, 2007. – № 4. – С. 52–57.

2. ГОСТ 2.116-84 «ЕСКД. Карта технического уровня и качества продукции». Стандартинформ. – М.: 2007. – 17 с.

3. ГОСТ Р 54147-2010 «Стратегический и инновационный менеджмент. Термины и определения». – М., 2011. – 22 с.

4. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Инновационный менеджмент. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 163 с.

5. Назаревич С.А., Семенова Е.Г. Методика оценки новизны результатов интеллектуальной деятельности // Вопросы радиоэлектроники. серия ОТ, вып. 1. – М.: Изд-во: Электроника, 2014. – С. 121–137.

6. Назаревич, С.А. Методика оценки технического уровня новшества. – М.: Изд-во: ООО «РИА «Стандарты и качество», 2014. – № 6. (924). – С. 95.

7. Назаревич, С.А. Методика оценки критерия инновационного уровня // Системный анализ и логистика. –СПб.: ГУАП, 2013. – № 10. – С. 70–75.

8. Об утверждении критериев отнесения товаров, работ и услуг к инновационной продукции и высокотехнологичной продукции по отраслям, относящимся к установленной сфере деятельности Минпромторга: приказ Минпромторга России от 01.11.2012 № 1618. 2012. – 6 с.

9. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. – 3-е изд. Совместная публикация ОЭСР и Евростата. – М., 2006. – 192 с.

References

1. Belousov V.I. O kriterijah ocenki znachimosti novovvedenij. Upravlenie innovacionnymi processami // Innovacionnyj Vestnik Region. InVestRegion. Voronezh, 2007. no. 4. pp. 52–57.

2. GOST 2.116-84 «ESKD. Karta tehnicheskogo urovnja i kachestva produkcii». Standartinform. M.: 2007. 17 p.

3. GOST R 54147-2010 «Strategicheskij i innovacionnyj menedzhment. Terminy i opredelenija». M., 2011. 22 p.

4. Korshunova L.A., Kuz'mina N.G. Innovacionnyj menedzhment. Tomsk: Izd-vo TPU, 2010. 163 p.

5. Nazarevich S.A., Semenova E.G. Metodika ocenki novizny rezul'tatov intellektual'noj dejatel'nosti // Voprosy radiojelektroniki. serija OT, vyp. 1. M.: Izd-vo: Jelektronika, 2014. pp. 121–137.

6. Nazarevich, S.A. Metodika ocenki tehnicheskogo urovnja novshestva. M.: Izd-vo: OOO «RIA «Standarty i kachestvo», 2014. no. 6. (924). pp. 95.

7. Nazarevich, S.A. Metodika ocenki kriterija innovacionnogo urovnja // Sistemnyj analiz i logistika. –SPb.: GUAP, 2013. no. 10. pp. 70–75.

8. Ob utverzhdenii kriteriev otnesenija tovarov, rabot i uslug k innovacionnoj produkcii i vysokotehnologichnoj produkcii po otrasljam, otnosjashhimsja k ustanovlennoj sfere dejatel'nosti Minpromtorga: prikaz Minpromtorga Rossii ot 01.11.2012 no. 1618. 2012. 6 p.

9. Rukovodstvo Oslo. Rekomendacii po sboru i analizu dannyh po innovacijam. 3-e izd. Sovmestnaja publikacija OJeSR i Evrostata. M., 2006. 192 p.

Рецензенты:

Кочетков С.В., д.э.н., профессор кафедры инноватики и интегрированных систем качества, Институт инноватики и базовой магистерской подготовки, ФГАОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург;

Ивакин Я.А., д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации» Российской академии наук, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 669.174; 669.126

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВЫХ РОНДОЛЕЙ

Немчинова Н.В., Тютрин А.А.

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

Качество и себестоимость алюминиевой упаковки (например, аэрозольных баллонов и туб) зависит от свойств исходной рондоли и технологии ее получения. В данной работе приведены результаты изучения микроструктуры рондолей разных производителей в двух состояниях: после непрерывной разливки и тепловой деформации и после рекристаллизационного отжига. Выполнен сравнительный анализ микроструктуры алюминиевой заготовки до и после отжига с определением среднего диаметра зерна. Сделаны выводы о влиянии некоторых параметров технологического режима производства алюминиевой рондоли (степень деформации прокатываемой ленты, рекристаллизационный отжиг, введение титана в качестве модифицирующей добавки) на получение мелкозернистой ее структуры, легко поддающейся холодной деформации.

Ключевые слова: алюминиевая рондоль, микроструктура, диаметр зерна, рекристаллизационный отжиг, металлографическое исследование

METALLOGRAPHIC INVESTIGATION OF ALUMINUM RONDOL SAMPLES

Nemchinova N.V., Tyutrin A.A.

FGBOU VPO «Irkutsk State Technical University», Irkutsk, e-mail: an.tu@inbox.ru

The quality and prime cost of aluminum packaging (such as aerosol cans and tubes) depend on the properties of the initial rondol and its production technology. In this paper there are the results of a rondol microstructure study which were obtained by different producers. The rondol microstructure were studied in two states: after continuous casting and heat deformation and after recrystallization annealing. The comparative analysis of the microstructures of aluminum billet obtained before and after annealing, were made with determination of the average grain diameter simultaneously. The conclusions about the effect of technological parameters of aluminum rondol production to obtain a fine-grained its structure are made. These parameters are the deformation degree of the rolled tape, recrystallization annealing, titanium input as modifier. The fine-grained structure is easily exposed by cold deformation.

Keywords: aluminum rondol, microstructure, grain size, recrystallization annealing, metallographic investigation

В настоящее время алюминиевая промышленность является наиболее крупной отраслью цветной металлургии и занимает лидирующее положение в отрасли. Объем производства алюминия намного опережает выпуск всех остальных цветных металлов и уступает лишь производству стали. Высокие темпы прироста производства алюминия обусловлены его уникальными физико-химическими свойствами (легкость, электропроводность, высокая коррозионная стойкость), благодаря которым он нашел широкое применение в электротехнике, авиастроении, транспорте, фармацевтике, производстве тары и бытовой техники, автомобилестроении, строительстве и других отраслях [6].

В России алюминиевая отрасль представлена объединенной компанией «РУСАЛ», в состав которой входит 47 заводов, большинство из которых производят первичный алюминий (15), глинозем (11), фольгу (4) [5]. Основную часть продукции компании составляют первичный алюминий, алюминиевые сплавы, фольга и глинозем.

Первичный алюминий марки А7 (99,7% металла) служит сырьем для изготовления рондоли – заготовки для производства алюминиевых туб, моноблоков и баллонов для различных аэрозолей.

Аэрозольные баллоны получают методом холодного обратного выдавливания; основным требованием для проведения этой операции являются высокие пластические свойства металла, из которого изготавливают баллоны. Пластичностью называют способность металла деформироваться, не нарушая своей сплошности. Высокая степень деформации алюминия, как и многих других металлов, достигается при наличии в структуре металла мелких зерен [3].

Технологическая схема производства рондоли включает в себя несколько операций. В литейный миксер заливается жидкий металл, после заполнения которого с поверхности алюминия необходимо снять шлак и оксидные пленки. После выдержки в течение 40 мин расплавленный металл разливается через пенокерамический фильтр и поступает через разливочный лоток в изложницу кристаллизатора. После

охлаждения металл превращается в литейную заготовку, которая поступает на прокатный стан, нагревается до температуры 360–420°С и прокатывается до определенного размера заданной толщины. Рулон полосы устанавливается в размотчик и через правильно-подкаточную клеть заправляется в вырубной штамп. Рондоль ссыпается в промежуточный кюбель, из которого далее поступает на операции мойки, отжига и галтовки. Отжиг образцов осуществляется в шахтной печи, после чего заготовки выдерживаются в режиме состаривания в холодильной камере. Далее в галтовочном барабане при его вращении совершается процесс трения рондолей друг об друга, при этом снимается заусенец и наносится шероховатость на поверхность заготовки.

Как уже было указано выше, при производстве рондолей одной из важных характеристик, определяющих качество изделия, является наличие мелкозернистой структуры для различных последующих операций (деформация, отжиг). В связи с этим целью наших исследований явилось изучение микроструктуры различных образцов данных изделий с определением среднего размера зерна.

изготовлены из алюминиевой ленты производства ОАО «СУАЛ филиал «Иркутский алюминиевый завод СУАЛ» ОК РУСАЛ (г. Шелехов Иркутской обл.; с января 2015 г. – филиал ОАО «РУСАЛ Братск» в г. Шелехов), а образцы 24,7×3,9 мм – из ленты производства ООО «Красноярский металлургический завод (КраМЗ)» (г. Красноярск). Все образцы изучались в двух разрезах: продольном (собственно поверхность рондоли) и поперечном (рис. 1).

Металлографический анализ – это система комплексных испытаний над макро- и микроструктурой металлических материалов; классический способ исследования металлов на предмет посторонних включений и влияния структуры на механические, электрические, магнитные и др. свойства. Исследование начинается с подготовки образцов и заканчивается выводом аналитических данных о структуре материала. Состав сплава, условия выплавки и кристаллизации, процессы обработки давлением и термообработки, а также рабочая нагрузка изменяют свойства материала. Эти изменения отражаются прежде всего на структуре и, следовательно, могут наблюдаться с помощью микроскопа и быть оценены количественно [1]. Макроструктура сплавов зависит во многом от скорости охлаждения при литье: высокая скорость дает мелкозернистую структуру, низкая – наоборот – крупные зерна, вырастающие в направлении охлаждения [4].

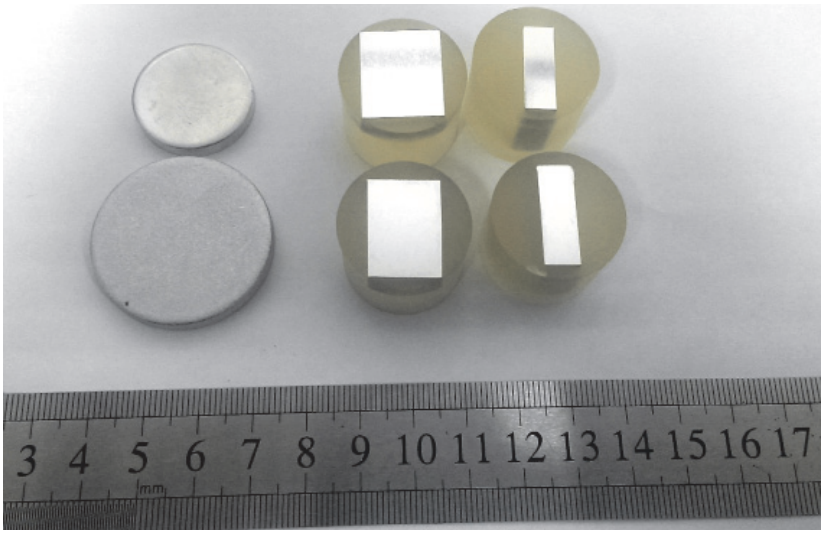


Рис. 1. Общий вид алюминиевых рондолей и изучаемых образцов после среза, полировки и травления (заливка – акриловая смола)

Материалы и методы исследований

Первоначальные исследования проводились на образцах алюминиевых рондолей 2-х видов: после непрерывной разливки, тепловой деформации и не подвергшихся рекристаллизационному отжигу и после рекристаллизационного отжига (с диаметром образцов 45,0×6,0 и 24,7×3,9 мм соответственно). Образцы рондолей 45,0×6,0 мм были

Для изучения микроструктуры образцов пробоподготовка к металлографическим исследованиям проводилась с помощью отрезного станка «Labotom-15» фирмы «Struers» (Дания). Шлифование и полировка образцов осуществлялась на шлифовально-полировальном станке «Tegramin-25» фирмы «Struers» (Дания). В качестве реактива для химического травления поверхности срезов образцов для выявления границ зерен использовался раствор соляной, азотной и плавиковой кислот марок ХЧ.

Съемка микроструктуры изучаемых образцов осуществлялоась на инвертированном металлографическом микроскопе «Olympus GX-51» (Япония). Это современный микроскоп, позволяющий работать в черном и белом полях, поляризованном свете, вести наблюдение при увеличении до 1000 раз с последующим выводом необходимого участка на экран персонального компьютера и сохранением рисунка для дальнейшего изучения. Данный микроскоп оснащен цифровой камерой Altra20 и предназначен для получения в отраженном свете: светлопольных и темнопольных изображений; изображений дифференциального интерференционного контраста (DIC); изображений в поляризованном свете. Предельное увеличение микроскопа: ×1000 (сменные объективы ×5, ×10, ×20, ×50, ×100). Микроскоп имеет сопутствующую программу «SIAMSPhotolab», предназначенную для обработки поступающих с камеры снимков, поскольку современный уровень развития науки и промышленности обуславливает необходимость применения нестандартных подходов к разработке новых технологий анализа состава, структуры и свойств новых и традиционных материалов, а одним из основных источников получения такой информации являются изображения исследуемых материалов.

В данной работе представлены результаты исследований микроструктуры поверхности и поперечных разрезов рондолей, а также расчет среднего значения размера зерна методом подсчета пересечений зерен в соответствии с ГОСТ 21073.3–75.

Для определения величины зерна поверхность шлифа просматривалась и выбирались три типичных места. Для измерений применялись секущие линии длиной по 400 мкм в виде двух непараллельных прямых, при условии что прямая должна пересекать не менее 10 зерен. Далее определение величины зерна L производилось подсчетом границ зерен N, пересеченных секущими.

Подсчет среднеквадратичного отклонения производился по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\left(L_1 - \overline{L}\right)^2 + \ldots + \left(L_n + \overline{L}\right)^2}{n}},$$

где L_1, L_n – диаметр зерна на измеряемом участке; $\overline{L}$ – среднее значение диаметра зерна; n – количество измерений.

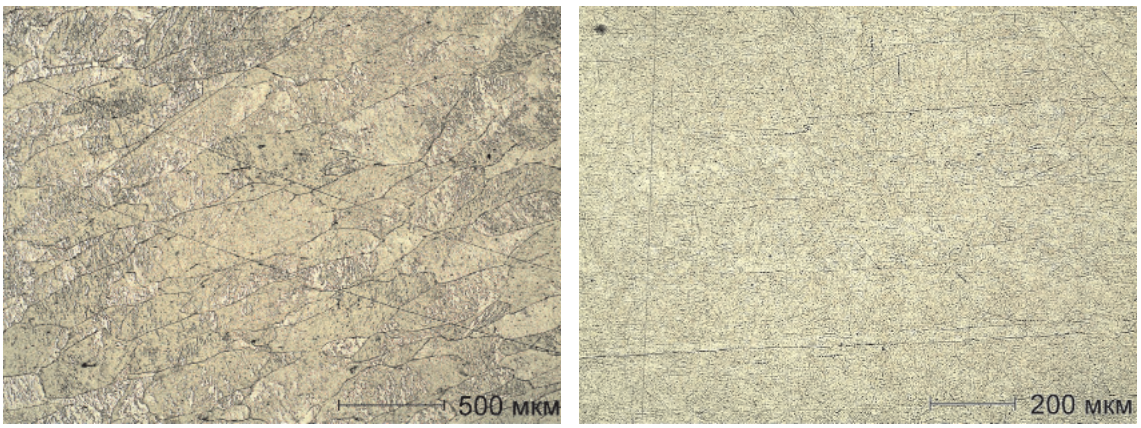
Результаты исследования и их обсуждение

Первая группа исследуемой алюминиевой рондоли представлена образцами после непрерывной разливки до рекристаллизационного отжига двух поставщиков (см. выше) прокатной ленты.

Микроструктура образцов (рис. 2), полученных из ленты производства Иркутского алюминиевого завода, имеет четкие границы зерен, сформировавшиеся ранее – в литом металле (рис. 2, а), которые заметно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 100–600 мкм, ширина – 50–300 мкм.

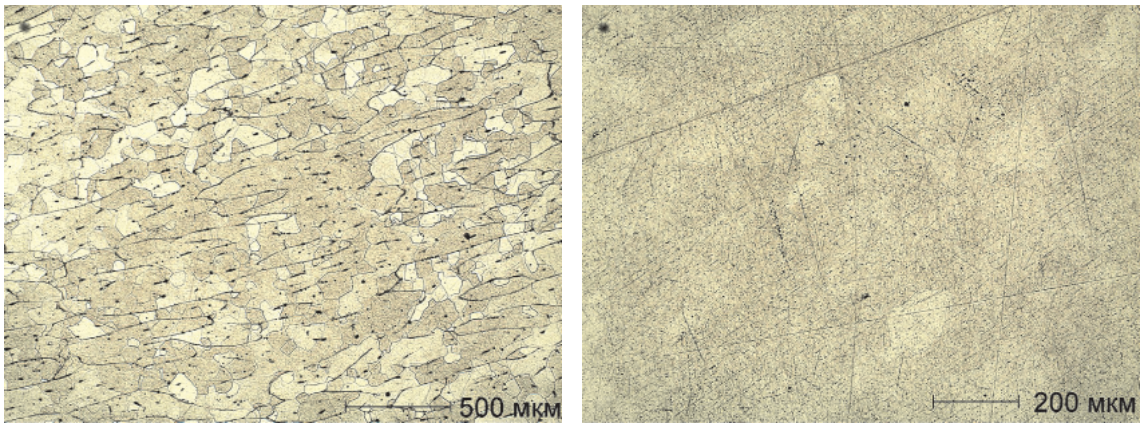
В поперечном сечении рондоли первичные кристаллы сильно вытянуты параллельно поверхности диска и не имеют четких границ. Их длина составляет 100–400 мкм; поперечный размер – 20–50 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты КраМЗа, значительно отличаются характером микроструктуры поверхности. Так, микроструктура данных образцов имеет четкие границы зерен (рис. 2, б), которые лишь незначительно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 10–25 мкм при ширине 5–15 мкм, а средний размер зерна – 9,42 мкм. В поперечном сечении деформация не заметна, форма зерен исследуемых образцов близкая к равноосной и средний диаметр составляет 9,98 мкм.



а б

Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов рондолей, не подвергнутых рекристаллизационному отжигу, двух поставщиков прокатной ленты: а – ИркАЗ; б – КраМЗ



а б

Рис. 3. Микроструктура поверхности образцов рондолей после рекристаллизационного отжига двух поставщиков прокатной ленты: а – ИркАЗ; б – КраМЗ

Как видно из полученных данных размера диаметра зерна, более мелкозернистую структуру имеют рондоли, полученные из алюминиевой ленты производства ООО КраМЗ. Это обусловлено в значительной мере двумя факторами. Во-первых, на качество микроструктуры влияет степень деформации прокатной ленты: ИркАЗ производит ленту толщиной 18 мм, которая далее прокатывается до 6 мм (степень деформации – 67 %); тогда как лента производства КраМЗ прокатывается с 6 до 3,9 мм (степень деформации составляет лишь 35 %). Поэтому зерна поверхности исследуемых изделий, полученных из ленты «ИркАЗ»а, значительно более вытянуты в направлении деформации. Вторым фактором, влияющим на качество структуры рондоли (а именно на размер зерна), является форма модифицирующей добавки титана: на «ИркАЗ»е используют лигатуру AlTiB в виде прутков, тогда как ООО «КраМЗ» использует собственно титан в форме таблеток.

Для получения более мелкозернистой структуры алюминия проводят рекристаллизационный отжиг. Как известно, данная операция заключается в нагреве деформируемого сплава до температур выше температуры окончания первичной рекристаллизации; применяется для снятия наклепа и получения мелкого зерна. Нагрев деформируемого металла ведет к повышению подвижности атомов, и среди вытянутых зерен идет интенсивное зарождение и рост новых равновесных, свободных от напряжений зерен. Данные новые зерна растут за счет старых, вытянутых, до их столкновения друг с другом и до полного исчезновения вытянутых зерен. При нагреве по достижении температуры начала рекристаллизации предел прочности и особенно текучести резко снижается, а пластичность металла увеличивается [2]. Данная операция необходима в основном для придания алюминию большей пластичности. При недостаточной пластичности металлической рондоли может возникнуть ряд трудностей при производстве баллонов и туб: наличие сквозных отверстий в корпусе аэрозольного баллона, трудности с нанесением офсетной печати (вследствие повышенной шероховатости боковой поверхности алюминиевого стакана), повышенный износ инструмента.

На рис. 3 представлены результаты металлографического исследования образцов рондолей после рекристаллизационного отжига.

Микроструктура образцов, полученных из ленты производства ИркАЗ, имеет четкие равноосные зерна, образовавшиеся после рекристаллизации (рис. 3, а), диаметры которых колеблются от 10–20 до 100–120 мкм (среднее значение – 60 мкм). В поперечном сечении рондоли также наблюдается равноосное строение зерен со средним диаметром 63 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты ООО «КраМЗ», также имеют равноосную зерновую структуру, на поверхности средний диаметр зерен составляет 8,36 мкм, в поперечном сечении – 9,09 мкм.

После проведения рекристаллизационного отжига рондоли из алюминиевой ленты компании ООО «КраМЗ» имеют более мелкозернистую структуру, так же, как и до отжига.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Качество рондолей в большей степени зависит от пластичности материала (алюминия), из которого они изготовлены. Данное свойство в свою очередь зависит от размера зерна алюминиевой заготовки: чем мельче зерно, тем выше пластичность и тем лучше рондоль подвергается холодной деформации.

2. Равноосность зерен рондоли зависит от степени деформации прокатной ленты: чем выше степень деформации, тем более вытянутая геометрическая направленность зерновой структуры.

3. Получение более мелкозернистой структуры алюминиевой заготовки достигается при введении титановой лигатуры в виде таблеток.

4. Рекристаллизационный отжиг позволяет уменьшить размер зерна; особенно это заметно на образцах, полученных из прокатной ленты ИркАЗа (с 100–300 до 60 мкм). Для рондолей, полученных на ООО КраМЗ, данное снижение размера не столь значительно (с 9,42 до 8,36 мкм). Поэтому необходимо добиваться мелкозернистой структуры еще на стадии разливки и тепловой деформации алюминиевых заготовок.

Список литературы

1. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.

2. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999. – 416 с.

3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Издательский дом «Альянс», 2009. – 528 с.

4. Немчинова Н.В., Гусева Е.А., Константинова М.В. Металлографическое исследование рафинированного технического кремния // Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2010. – № 5 (45). – С. 207–211.

5. Немчинова Н.В., Пятов Р.В. Объединенная компания «РУСАЛ» // Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (23–24 апреля 2014 г., г. Иркутск). – Иркутск, 2014. – С. 72–74.

6. Электрометаллургия алюминия / И.С. Гринберг, В.Г. Терентьев, В.И. Чалых и др. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 350 с.

References

1. Vashul Kh. Prakticheskaja metallografija. Metody izgotovlenija obrazcov. M.: Metallurgija, 1988. 320 p.

2. Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnykh metallov i splavov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: MISiS, 1999. 416 p.

3. Lakhtin Ju.M., Leont'eva V.P. Materialovedenie. M.: Izdatel'skijj dom «Al'jans», 2009. 528 p.

4. Nemchinova N.V., Guseva E.A., Konstantinova M.V. Metallograficheskoe issledovanie rafinirovannogo tekhnicheskogo kremnija // Vestnik IrGTU. Irkutsk, 2010. no. 5 (45). pp. 207–211.

5. Nemchinova N.V., Pjatov R.V. Oedinennaja kompanija «RUSAL» // Perspektivy razvitija tekhnologii pererabotki uglevodorodnykh, rastitel'nykh i mineralnykh resursov: materialy IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem (23–24 aprelja 2014 g., g. Irkutsk). Irkutsk, 2014. pp. 72–74.

6. Ehlektrometallurgija aljuminija / I.S. Grinberg, V.G. Terent'ev, V.I. Chalykh i dr. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2009. 350 p.

Рецензенты:

Черных В.Е., д.т.н., генеральный директор ООО «ИТЭМ-инжиниринг», г. Иркутск;

Белоусова Н.В., д.х.н., заведующая кафедрой металлургии цветных металлов, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 03.02.2015.

УДК 621.316

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ИЗОЛЯЦИИ

Никитин К.И., Поляков Д.А.

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск, e-mail: polyakowdmitry@yandex.ru

В статье проведен расчет срока службы полиэтиленовой изоляции высоковольтного электрооборудования в условиях эксплуатации на основе разработанной модели ее старения в электрическом поле. Предложена модель старения, в основу которой положен анализ молекулярных структур и свойств полиэтиленовой изоляции с учетом факторов, влияющих на нее. Для моделирования процессов, происходящих при старении изоляции был взят ее срез размером 100×100 молекул (CH_2), в котором был смоделирован пробой изоляции, при накоплении усталостных явлений при микроразрушении этих молекул под воздействием электрического поля. Для вычисления набора таких микроразрушений была разработана программа, автоматически определяющая пробой изоляции и записывающая их статистику в зависимости от количества пробитых молекул. Исходя из данных, полученных в ходе моделирования, был произведен расчет среднего срока службы изоляции. Расчетные теоретические результаты близки к реальным срокам службы изоляции высоковольтного электрооборудования в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: срок службы изоляции, изоляция электрооборудования, частичные разряды в изоляции, модель старения изоляции

INSULATION SERVICE LIFE DETERMINATION

Nikitin K.I., Polyakov D.A.

Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: polyakowdmitry@yandex.ru

High voltage equipment PE-insulation operating life is calculated in this paper. Calculation was made on the basis of the model of insulation aging under the influence of the electrical field. The model of insulation aging proposed is based on the molecular structure and characteristics of PE-insulation analysis. Besides, insulation influencing factors are taken into account. To model the occurrences during insulation aging process was taken its cut in size of 100×100 (CH_2) molecules. In this cut has been modeled insulation breakdown with the accumulation of fatigue phenomena of molecules microfracture under the electrical field influence. The insulation breakdown determining and its statistics in dependence of the number of molecules pierced recording program has been developed to calculate the set of microfractures. Starting from the data obtained during the modeling the average lifetime calculation was made. Estimated theoretical results correspond to the real high voltage equipment insulation operating life under service conditions.

Keywords: insulation operating life, electrical equipment insulation, partial discharges in the insulation, insulation aging model

Актуальность. Все электротехнические установки содержат изоляционные материалы. Широко распространенным является полиэтилен с различными модификациями. Исследование природы его разрушения под воздействием электрического поля, определение срока службы является актуальной задачей, так как от этого зависит надежность работы всей электроустановки. Знание процесса старения изоляции поможет разработать и использовать защиту, которая будет определять остаточный ресурс изоляции электроустановки [4, 5, 6].

Модель старения изоляции. Ухудшение изоляционных свойств происходит по известным причинам: температура, электрическое и магнитное поля, механическое воздействие, световое (в большей степени ультрафиолетовое) воздействие, естественная радиация, влажность и некоторые другие факторы.

Зависимость температурного воздействия на скорость химических реакций описана известным законом Аррениуса:

$$K_t = K \cdot e^{\frac{-W_a}{kT}}, \quad (1)$$

где K_t – средняя вероятность распада одной молекулы в единицу времени, определяющая скорость химических реакций; K – постоянная, зависящая от структуры веществ, вступающих в реакцию; W_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана.

Можно предположить методом аналогий, что и другие факторы воздействия могут иметь подобный закон ухудшения изоляционных свойств материалов.

Причины старения в полиэтиленовой изоляции неизбежны, как технологические, так и эксплуатационные. К таким дефектам относятся микроразмерные воздушные полости, посторонние включения, трещины и др. Они появляются в изоляции в процессе

ее изготовления или прокладки и функционирования кабелей вследствие, например, периодических сжатий и расширений материала в режимах нагрузки. Эти микропустоты заполнены газом из-за возникновения водяного пара и наличия летучих продуктов в производственных процессах сшивки и экструзии изоляции [2].

Рассмотрим частный случай старения изоляции в электрическом поле (ЭП) высокой напряженности. Под действием ЭП старение происходит за счет развития в изоляции частичных разрядов [3]. Периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают изоляцию путем появления в ней микротрещин, что приводит в итоге к ее пробою.

Для определения степени деградации изоляции, ведущей к пробою, найдем закон распределения появления дефектов в диэлектрике. Рассмотрим процесс старения изоляции материала на примере насыщенного полимера – полиэтилена.

В химической формуле полиэтилена, представленной на рис. 1, при пробое разрушаются связи атома углерода с соседними атомами углерода и образуются свободные атомы водорода, которые могут стать причиной возникновения пузырьков [8].

Образующийся несвязанный водород выбивается в качестве положительно заряженного иона H^+, который, в свою очередь, способствует ионизации и дальнейшему разрушению молекулярной структуры полиэтилена в целом и впоследствии, захватывая свободный электрон, становится нейтральным, а углерод становится проводящей микрочастицей. При этом соседние атомы углерода образуют связи между собой.

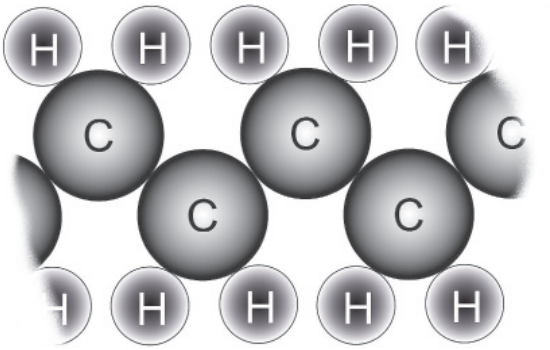


Рис. 1. Молекула полиэтилена

Кроме того, возможен вариант, когда свободный водород образует связи с соседними атомами углерода в неразрушенных молекулах и образует концевые группы. При разрушении такой связи под воздействием электрического поля образуется свободный водород и концевая группа с соседним атомом углерода.

Рассмотрим упрощенную модель изоляции из полиэтилена как срез размерами 100×100 молекул CH_2, в которых может произойти пробой под воздействием электрического поля (рис. 2).

Представим квадрат (100×100) как систему координат, где координаты пробоя определяются случайно.

Электрическая прочность полиэтилена составляет 45...60 кВ/мм [7]. Толщина изоляции жилы кабелей с рабочим напряжением 10 кВ составляет 5,5 мм. Однако для проверки таких кабелей используют напряжение 25 кВ. Тогда на 1 мм толщины изоляции кабеля приходится напряжение 25/5,5 = 4,55 кВ/мм. Следовательно, необходимо пробить (4,55/45)·100 % = 10 % клеток, что при размере 100×100 составляет 100·0,1 ≈ 10 клеток.

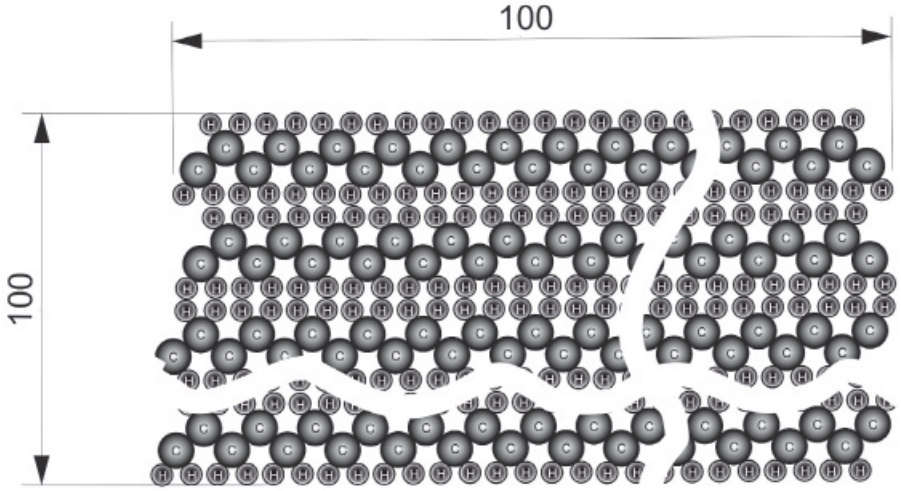


Рис. 2. Модель изоляции в виде среза 100×100 молекул CH_2

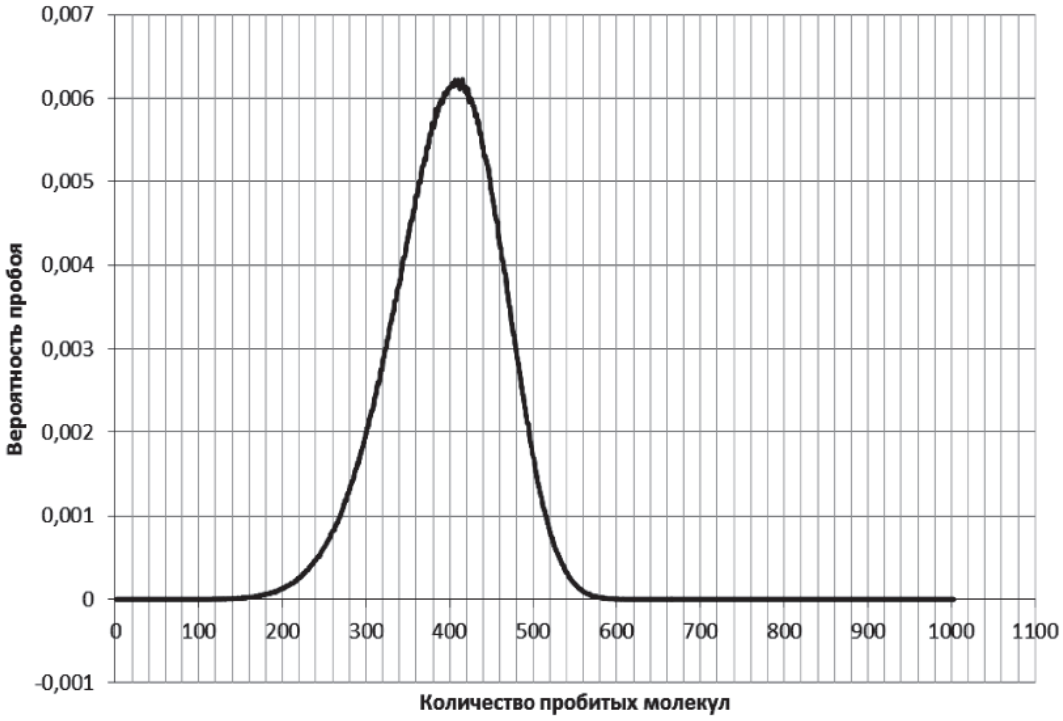


Рис. 3. График зависимости вероятности пробоя участка изоляции от количества пробитых молекул CH_2

Для сбора статистических данных по пробою изоляции была написана программа, в которой с использованием случайной функции random() были получены различные комбинации координат, записывалась статистика количества выпавших до пробоя координат. Полученный график (рис. 3) показывает, что пробой указанного участка изоляции происходит по нормальному закону распределения.

Согласно полученной зависимости основная часть пробоев изоляции приходится в промежутке от 300 до 500 пробитых молекул. Для расчета примем среднее значение в 400 молекул. Размер поля для расчета составляет 100×100 клеток, то есть всего на поле 10 000 молекул. Таким образом, для пробоя изоляции достаточно пробить 4 % молекул, при условии, что при каждом частичном разряде будет пробиваться только одна молекула, тогда как в действительности за один частичный разряд может пробиться большее количество молекул. В связи с этим примем, что для полного пробоя изоляции необходимо пробить 1 % молекул.

Рассчитаем количество молекул в квадрате со стороной 5,5 мм полиэтилена, что составляет 30,25 мм^2. Размеры молекулы этилена составляют 0,2534 нм. Расстояние между молекулами CH_2 $l = \frac{0{,}2534}{2} = 0{,}1267$ нм [7], следовательно, количество молекул CH_2 в 5,5 мм можно рассчитать по формуле

$$n = \frac{h}{l} = \frac{5{,}5 \cdot 10^{-3}}{0{,}1267 \cdot 10^{-9}} = 4{,}34 \cdot 10^{7},$$

где h – толщина полиэтиленовой изоляции; l – длина связей между молекулами CH_2.

Найдем количество молекул CH_2 в 30,25 мм^2.

$$m = n^2\,(4{,}34 \cdot 10^7)^2 = 1{,}88 \cdot 10^{15}$$

Зная количество молекул (CH_2) в 30,25 мм^2 и принимая, что для полного пробоя изоляции необходимо пробить 1 % клеток, получаем, что в среднем нужно пробить $1{,}88 \cdot 10^{13}$ молекул.

Согласно [9], появление частичных разрядов во многом зависит от фазового угла напряжения, особенно при возрастании напряжения от 0 до амплитудного значения, причем независимо от полярности. Частота сигналов частичных разрядов лежит в диапазоне 30–40 кГц [10]. Однако сигналы

частичных разрядов представляют собой не непрерывный сигнал, а кратковременные всплески тока. Исходя из этого, для расчета срока службы изоляции примем среднюю частоту появления частичных разрядов за все время эксплуатации электрооборудования в размере 8 кГц.

Средний срок службы изоляции можно рассчитать по формуле

$$T = \frac{m_{\text{ср}}}{f \cdot t_1 \cdot t_2} = \frac{1{,}88 \cdot 10^{13}}{8 \cdot 10^3 \cdot 3600 \cdot 8760} = 74{,}5 \text{ года},$$

где $m_{\text{ср}}$ – среднее количество молекул полиэтилена, которое нужно пробить, для того чтобы изоляция вышла из строя; t_1 – количество часов в году; t_2 – количество секунд в одном часе; f – средняя частота появления частичных разрядов.

Выводы

Расчетные данные близки к реальным эксплуатационным срокам службы изоляции высоковольтного оборудования. Поэтому данная модель может быть использована для расчета остаточного ресурса службы и проведения последующих исследований с учетом внешних и внутренних факторов, влияющих на изоляцию.

Список литературы

1. Конкин А.А., Зверев М.П. Полиолефиновые волокна. – М.: Изд-во «Химия», 1966.

2. Кучерявая И.Н. Численное исследование распределения электрического и температурного поля в полиэтиленовой изоляции силового кабеля с микровключением // Труды Института электродинамики НАН Украины. Вып. 31. – Киев, 2012. – С. 30–36.

3. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – М.: Изд-во «Энергия», 1979.

4. Никитин К.И., Горюнов В.Н., Сарычев М.М. Опережающий автоматический ввод резерва собственных нужд электрических станций и подстанций // Омский научный вестник. – 2011. – № 3 (103). – С. 211–213.

5. Никитин К.И., Сидоров О.А., Вырва А.А., Сарычев М.М. Возможные направления совершенствования релейной защиты // Омский научный вестник. – 2009. – № 1 (77). – С. 130–133.

6. Никитин К.И. Принципы построения, алгоритмы и модели токовых защит электроэнергетических систем: монография. – Омск: ОмГТУ, 2012. – 240 с.: ил. – ISBN 978-5-8149-1260-2.

7. Справочник по электротехническим материалам; под ред. Корицкого и др. – Л., «Энергия», 1976.

8. Тютнев А.П., Саенко В.С., Кундина Ю.Ф., Пожидаев Е.Д., Ванников А.В. Подвижность избыточных носителей заряда в полиэтилене низкой плотности // Химическая физика. – 2002. – Т. 21, № 7. – С. 30–40.

9. Deshpande A.S., Mangalvedekar H.A., Cheeran A.N. Partial discharge analysis using energy patterns // Electrical Power and Energy Systems. – 2013. – № 53. – P. 184–195.

10. Hung-Cheng Chen, Feng-Chang Gu, Meng-Hui Wang A novel extension neural network based partial discharge pattern recognition method for high-voltage power apparatus // Expert Systems with Applications. – 2012. – № 39. – P. 3423–3431.

References

1. Konkin A.A., Zverev M.P. Poliolefinovye volokna. Izd. «Khimiya». M., 1966.

2. Kucheryavaya I.N. Chislennoe issledovanie raspredeleniya elektricheskogo i temperaturnogo polya v polietilenovoy izolyatsii silovogo kabelya s mikrovklyucheniem // Trudy Instituta elektrodinamiki NAN Ukrainy Vyp. 31. Kiev, 2012. pp. 30–36.

3. Kuchinskiy G.S. Chastichnye razryady v vysokovoltnykh konstruktsyyakh. Izd. «Energiya», 1979.

4. Nikitin K.I. Goryunov V.N., Sarychev M.M. Operezhayuschiy avtomaticheskiy vvod rezerva sobstvennykh nuzhd elektricheskikh stantsiy i podstantsiy // Omskiy nauchnyy vestnik. 2011. no. 3 (103). pp. 211–213.

5. Nikitin K.I., Sidorov O.A., Vyrva A.A., Sarychev M.M. Vozmozhnye napravleniya sovershenstvovaniya releynoy zaschity // Omskiy nauchnyy vestnik. 2009. no. 1 (77). pp. 130–133.

6. Nikitin K.I. Printsipy postroeniya, algoritmy i modeli tokovykh zashchit elektroenergeticheskikh sistem: Monografiya. Omsk: OmGTU, 2012. 240 p.: il. ISBN 978-5-8149-1260-2.

7. Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam pod red. Koritskogo i dr. L., «Energiya», 1976.

8. Tyutnev A.P., Saenko V.S., Kundina Yu.F., Pozhidaev E.D., Vannikov A.V. Podvizhnost izbytochnykh nositeley zaryada v polietilene nizkoy plotnosti // Himicheskaya fizika. 2002. T. 21, no. 7. pp. 30–40.

9. Deshpande A.S., Mangalvedekar H.A., Cheeran A.N. Partial discharge analysis using energy patterns // Electrical Power and Energy Systems 53 (2013) 184–195.

10. Hung-Cheng Chen, Feng-Chang Gu, Meng-Hui Wang A novel extension neural network based partial discharge pattern recognition method for high-voltage power apparatus // Expert Systems with Applications 39 (2012) 3423–3431.

Рецензенты:

Харламов В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск;

Новожилов А.Н., д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 629.782

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОРБИТЫ ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА МАРСА

Соколов Н.Л.

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», Королев, e-mail: sokolov@mcc.rsa.ru

В работе исследуется оптимальное двухпараметрическое управление космическим аппаратом (КА) при его выведении на орбиту искусственного спутника Марса. Рассматривается комбинированный способ формирования спутниковых орбит, предусматривающий предварительное аэродинамическое торможение в атмосфере и разгон КА в апоцентре переходной орбиты. В качестве оптимизируемого функционала используется максимум скорости вылета КА из атмосферы, что соответствует минимуму потребных энергетических затрат. Управление КА осуществляется путем изменения значений углов атаки и крена на участке аэродинамического торможения. Вариационные задачи решались с применением необходимых условий оптимальности принципа максимума Понтрягина. Путем введения замен переменных и ряда допущений преобразованы исходные системы дифференциальных уравнений движения КА и сопряженных переменных. Это позволило разработать новый аналитический алгоритм расчета законов оптимального управления и параметров траекторий движения КА. С помощью разработанного алгоритма определены потребные энергетические затраты и значения физически реализуемых коридоров входа для широкого диапазона изменения краевых условий и проектных характеристик КА. Показана высокая энергетическая эффективность и принципиальная возможность реализации предложенной комбинированной схемы выведения для КА, располагаемых аэродинамическим качеством, более 0,3.

Ключевые слова: космический аппарат, выведение на спутниковую орбиту, комбинированная схема, оптимальное управление, принцип максимума, углы атаки и крена, минимум потребных энергозатрат, коридор входа в атмосферу

OPTIMAL CONTROL OF SPACE VEHICLE DURING THE SHAPING OF ORBIT OF MARS ARTIFICIAL SATELLITE

Sokolov N.L.

Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Machine Building», Korolev, e-mail: sokolov@mcc.rsa.ru

In the work the optimal two-parameter control of space vehicle (SV) is researched during its insertion to the orbit of the Mars artificial satellite. The combined profile of satellite orbit shaping is reviewed with the preliminary aerodynamic deceleration in the atmosphere and space vehicle acceleration in the apocentre of a transfer orbit. The maximum of space vehicle velocity during the atmospheric leave is used as an optimizable functional which corresponds to the minimum of necessary power inputs. The space vehicle is controlled by the change of attack and roll angles' values at the aerodynamic deceleration path. The variational tasks were solved with the use of necessary optimality conditions of Pontryagin's maximum principle. The initial systems of differential equations of space vehicle motion and costate variables are transformed by introducing change of variables and a number of assumptions. It allowed developing a new analytical algorithm for calculation of optimal control laws and parameters of space vehicle motion paths. The necessary power consumption and the values of physically realizable reentry corridors are defined with a help of the developed algorithm for a wide range of boundary conditions change and space vehicle design characteristics. The high energy efficiency is showed and principal fulfillment of the proposed combined insertion profile for the space vehicles with an aerodynamic quality of more than 0,3.

Keywords: space vehicle, insertion into a satellite orbit, combined profile, optimal control, maximum principle, attack and roll angles, minimum of power consumption, reentry corridor

Одной из важнейших проблем организации космических миссий для изучения Марса и других планет Солнечной системы является выработка и обоснование требований к энергетическим и массово-габаритным параметрам создаваемых перспективных космических аппаратов (КА). Это обуславливается необходимостью учета различных факторов, влияющих на проектный облик и массовые характеристики автоматических и пилотируемых КА.

Все это в сочетании с необходимостью решения широкого спектра научно-исследовательских целевых задач предопределяет исключительную важность проблемы поиска путей увеличения доли научной аппаратуры в общем весовом балансе КА. Существенным резервом в решении этой проблемы является организация движения КА по энергетически оптимальным траекториям.

Одно из перспективных направлений оптимизации управления КА состоит в разработке аналитических методов решения вариационных задач. Кроме сокращения затрат расчетного времени это дает и другие

преимущества. Форма решения получается более наглядной, что облегчает проведение сравнительного анализа различных вариантов. Оптимальные законы управления могут иметь вид явных зависимостей от начальных условий и параметров системы, что позволяет оценить степень влияния той или иной характеристики на управляющие параметры.

Постановка задачи

Движение КА в атмосфере по аналогии с работами [1, 2, 6] описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{gathered}
\frac{dV}{dt}=-\frac{\rho V^2 C_x(\alpha)S}{2m}-g\sin\theta-\omega^2 r\cos\varphi\left(\sin\varphi\sin\varepsilon\cos\theta-\cos\varphi\sin\theta\right);\\
\frac{d\theta}{dt}=\frac{\rho V C_y(\alpha)S}{2m}\cos\gamma-\frac{g}{V}\cos\theta+\frac{V}{r}\cos\theta+2\omega\cos\varphi\cos\varepsilon+\\
+\frac{\omega^2 r}{V}\cos\varphi\left(\sin\varphi\sin\varepsilon\sin\theta+\cos\varphi\cos\theta\right);\\
\frac{d\varepsilon}{dt}=\frac{\rho V C_y(\alpha)S}{2m}\frac{\sin\gamma}{\cos\theta}-\frac{V}{r}\cos\theta\cos\varepsilon\,\mathrm{tg}\,\varphi-\frac{2\omega}{\cos\theta}(\cos\theta\sin\varphi-\\
-\sin\varepsilon\sin\theta\cos\varphi)-\frac{\omega^2 r}{V}\sin\varphi\cos\varphi\frac{\cos\varepsilon}{\cos\theta};\\
\frac{dh}{dt}=V\sin\theta;\quad \frac{d\lambda}{dt}=\frac{V}{r}\frac{\cos\theta\cos\varepsilon}{\cos\varphi};\quad \frac{d\varphi}{dt}=\frac{V}{r}\cos\theta\sin\varepsilon;\\
r=R+h;\quad g=\frac{\mu}{r^2};\quad K=\frac{C_y(\alpha)}{C_x(\alpha)};\quad P_x=\frac{m}{C_x(\alpha)S},
\end{gathered}\tag{1}$$

где V – скорость КА; θ – траекторный угол; ε – курсовой угол; r – радиус-вектор положения КА; λ и φ – долгота и широта подспутниковых точек КА; m – масса КА; t – время; ρ – плотность атмосферы; C_x и C_y – аэродинамические коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы; R – радиус планеты; h – высота полета; g – ускорение силы тяжести; μ – гравитационный параметр; K – аэродинамическое качество; S – площадь миделева сечения; P_x – приведенная нагрузка на лобовую поверхность КА; α – угол атаки; γ – угол крена.

Значения управляющих параметров α и γ могут изменяться в пределах

$$0\le\alpha\le\alpha_{\max};\ -\pi\le\gamma\le\pi. \tag{2}$$

Для различных моделей атмосферы Марса плотность ρ в зависимости от высоты полета КА определяется в соответствии с методикой, изложенной в работах [5].

Значения коэффициентов C_x и C_y зависят от форм КА. Рассматривались аппараты сегментно-конической формы с максимальным аэродинамическим качеством $K_{\max}=0{,}34$; типа «несущий корпус» с $K_{\max}=1{,}5$; самолетной формы с $K_{\max}=2{,}4$. Для таких форм зависимости C_x, C_y и K от угла атаки α приведены, в частности, в работе [2].

Будем считать, что начальная точка траектории $t=t_0$ соответствует моменту входа КА в атмосферу Марса. При этом все значения начальных параметров КА известны:

$$x_i(t_0)=x_{i0},\ i=1,2,\ldots,6. \tag{3}$$

В конечной точке траектории $t=t_k$ (вылет КА из атмосферы) известно значение радиуса-вектора КА:

$$r_k=R+h_{\text{атм}}, \tag{4}$$

здесь $h_{\text{атм}}=100$ км – высота условной границы атмосферы Марса.

При выведении на орбиту должно выполняться соотношение, связывающее значения конечных параметров V_k, θ_k и r_k в инерциальной системе координат с заданным радиусом r_α:

$$V_k=\sqrt{\frac{2\mu r_\alpha\left(r_\alpha-r_k\right)}{r_k\left(r_\alpha^2-r_k^2\cos^2\theta_k\right)}}. \tag{5}$$

В качестве критерия оптимальности будем использовать максимум скорости КА в конечной точке траекторий $J=V_k=\max$, что обеспечивает минимум потребных энергозатрат при формировании орбиты ИСМ [2].

Задача максимизации коридора входа КА в атмосферу сводится к решению двух независимых вариационных задач о нахождении минимума и максимума высот

условного перицентра, характеризующих верхнюю и нижнюю границы коридора входа:

$$\min h_{\pi}^{\text{Н}} = \min\left[\frac{r_0^2 V_0^2 \cos^2\theta_0^H}{\mu(e+1)} - R\right]$$

или

$$\min h_{\pi}^{B} = \max\left[\frac{r_0^2 V_0^2 \cos^2\theta_0^B}{\mu(e+1)} - R\right],$$

где e – эксцентриситет полетной орбиты.

Итак, сформулируем задачу оптимального управления КА в общем виде: для процессов, описываемых системой дифференциальных уравнений (1), требуется определить программу управления углами $\alpha(t)$ и $\gamma(t)$, обеспечивающую экстремум функционала J при ограничениях (2) и краевых условиях (3)–(5).

Метод расчета оптимальных траекторий

При разработке аналитического метода использовались общеизвестные допущения, обоснованные в ряде работ [2, 6, 8]:

$$h \ll R;\ \rho = \rho_0 \exp(-\beta h);\quad F_k + F_{\text{ц}} \ll F_{\text{гр}} \ll F_{\text{а}},$$

где F_k, $F_{\text{ц}}$, $F_{\text{гр}}$, $F_{\text{а}}$ – кориолисова, центробежная, гравитационная и аэродинамическая силы соответственно; ρ_0 – плотность атмосферы на поверхности планеты; β – логарифмический коэффициент изменения плотности атмосферы от высоты.

Введем замены переменных

$$dt = -dV\frac{2m}{\rho V^2 C_x S},\quad z = -\ln V.$$

В результате получим систему, не содержащую в явном виде аргумент z:

$$\begin{gathered}\frac{d\theta}{dz} = \frac{C_y}{C_x}\cos\gamma - \frac{2mM_1}{C_x S},\\ \frac{d\varepsilon}{dz} = \frac{C_y}{C_x}\frac{\sin\gamma}{\cos\theta} - \frac{2mM_2}{C_x S},\\ \frac{d\rho}{dz} = -\frac{2m\beta\sin\theta}{C_x S},\quad \frac{d\lambda}{dz} = \frac{2m\cos\theta\cos\varepsilon}{\rho R C_x S\cos\varphi},\\ \frac{d\varphi}{dz} = \frac{2m\cos\theta\sin\varepsilon}{\rho R C_x S}.\end{gathered} \tag{6}$$

Следуя [2], будем считать M_1 и M_2 кусочно-постоянными функциями. Отметим, что при движении КА в атмосфере аргумент z возрастает.

Для определения оптимальных законов управления параметрами α и γ воспользуемся принципом максимума Понтрягина [4]. При $z_0 \ge z \ge z_k$ гамильтониан и система уравнений сопряженных переменных запишутся следующим образом:

$$\begin{gathered}H = \Psi_0 + \frac{C_y}{C_x}\cos\gamma\Psi_1 - \frac{2mM_1}{C_x S}\Psi_1 + \frac{C_y}{C_x}\frac{\sin\gamma}{\cos\theta}\Psi_2 - \frac{2mM_2}{C_x S}\Psi_2 -\\ -\frac{2m\beta\sin\theta}{C_x S}\Psi_3 + \frac{2m\cos\theta\cos\varepsilon}{\rho R C_x S\cos\varphi}\Psi_4 + \frac{2m\cos\theta\sin\varepsilon}{\rho R C_x S}\Psi_5;\end{gathered} \tag{7}$$

$$\begin{gathered}\frac{d\Psi_1}{dz} = -\frac{\partial H}{\partial\theta};\quad \frac{d\Psi_2}{dz} = -\frac{\partial H}{\partial\varepsilon};\\ \frac{d\Psi_3}{dz} = -\frac{\partial H}{\partial\rho};\quad \frac{d\Psi_4}{dz} = -\frac{\partial H}{\partial\lambda} = 0;\quad \frac{d\Psi_5}{dz} = -\frac{\partial H}{\partial\varphi}.\end{gathered} \tag{8}$$

При использовании в качестве аргумента управления параметра z, согласно [4], в систему (6) вводится дополнительное дифференциальное уравнение $dz/dz = 1$. В связи с тем, что правые части этой системы не содержат в явном виде аргумент z, соответствующее уравнение для сопряженной переменной Ψ_0 определяется формулой

$$d\Psi_0/dz = 0.$$

Законы изменения α и γ при оптимальном управлении определяются в результате решения системы $\partial H/\partial\alpha = 0$, $\partial H/\partial\gamma = 0$, и их можно записать в виде

$$\frac{\partial C_y}{\partial\alpha}\cos\gamma\Psi_1 + \frac{\partial C_y}{\partial\alpha}\frac{\sin\gamma}{\cos\theta}\Psi_2 + \frac{\partial C_x}{\partial\alpha}\Psi_0 = 0;\qquad \operatorname{tg}\gamma = \frac{\Psi_2}{\Psi_1\cos\theta}. \tag{9}$$

Следует отметить, что найденная структура управления соответствует структуре, обоснованной в работе [2]: в процессе полета КА в атмосфере осуществляется одноразовое переключение угла крена γ с нулевого значения на $\gamma = \pi$.

Граничные условия для сопряженных переменных Ψ_i ($i = 0, 1, ..., 5$) при $z = z_0$ и $z = z_k$ получим из условия трансверсальности [3]

$$I - H\delta z + \Psi_0\delta z + \Psi_1\delta\theta + \Psi_2\delta\varepsilon + \Psi_3\delta\rho + \Psi_4\delta\lambda + \Psi_5\delta\varphi = 0. \tag{10}$$

Таким образом, для определения оптимальных траекторий необходимо решить уравнения (9) с учетом дифференциальных связей (6)–(8) и краевых условий (10).

Алгоритм расчета управляющих параметров

Для определения управляющих параметров разработан ускоренный вычислительный алгоритм, базирующийся на прогнозировании оставшихся участков полета на основе измерений текущего положения КА.

Зависимость между углом θ и аргументом z может быть определена на основе интегрирования первого уравнения системы (6):

$$\frac{d\theta}{dz}=\frac{C_y}{C_x}\cos\gamma-\frac{2mM_1}{C_xS}.$$

Окончательно запишем

$$\theta_{i+1}=\theta_i+\left(K\cos\gamma-2P_xM_1\right)\left(z_{i+1}-z_i\right). \quad (11)$$

Преобразуя первое уравнение системы (6), получим

$$\frac{dV}{d\theta}=-\frac{VC_xS}{C_yS\cos\gamma-2mM_1}.$$

После его интегрирования на интервалах кусочного постоянства функции $M_1(t_i, t_{i+1})$ запишем формулу

$$V\left(t_{i+1}\right)=V\left(t_i\right)\exp\left[-\frac{\theta_{i+1}-\theta_i}{K\cos\gamma-2P_xM_1}\right]. \quad (12)$$

Поделив второе уравнение системы (6) на третье и учитывая указанное допущение об экспоненциальном характере изменения плотности атмосферы от высоты, получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{d\theta}{d\rho}=-\frac{C_yS\cos\gamma-2mM_1}{2m\beta\sin\theta}.$$

Интегрируя его в интервалах (t_i, t_{i+1}), запишем формулу связи между текущими значениями высоты полета h и траекторного угла θ:

$$h_{i+1}=h_i-\frac{1}{\beta}\ln\left[\frac{\beta}{\rho_0}\cdot\frac{\cos\theta_{i+1}-\cos\theta_i}{M_1-K\cos\gamma/2\,P_x}\right]. \quad (13)$$

Таким образом, с использованием рекуррентных соотношений (11)–(13) могут быть рассчитаны траектории движения КА в атмосфере с заданными значениями углов крена и атаки от момента измерений значений V_i, θ_i до выхода КА из атмосферы.

Определив величины $V_к$, $\theta_к$ в инерциальной системе координат и вычислив значения кеплеровских интегралов энергии C_1 и площадей C_2:

$$C_1=\frac{2\mu}{r_к}-V_к^2,\quad C_2=r_к^2V_к^2\cos^2\theta_к;$$

$$r_к=R+100\text{ км}$$

получим формулу для расчета высоты и скорости КА в апогее переходной орбиты:

$$h_\alpha=\frac{\mu-\sqrt{\mu^2-C_1C_2}}{C_1}-R;$$

$$V_\alpha=\sqrt{V_к^2-\frac{2\mu\left(r_\alpha-r_к\right)}{r_\alpha r_к}}. \quad (14)$$

Далее на основе рекуррентных зависимостей (11)–(13) опишем алгоритм определения управляющих параметров, при которых обеспечивается максимум скорости вылета КА из атмосферы и, соответственно, скорости аппарата в апогее переходной орбиты.

Вход КА в атмосферу осуществляется с нулевым углом крена и углом атаки α*, соответствующим максимальному значению аэродинамического качества. Предполагается, что с интервалом $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ проводится измерение текущих значений скорости V_i, угла θ_i и высоты полета h_i. Для каждого из моментов измерений t_i по рекуррентным соотношениям (11)–(13) определяются значения скорости $V_к$ и траекторного угла $\theta_к$ при вылете КА из атмосферы для двух различных режимов полета: с γ = 0, α = α* и γ = π, α = α*. С помощью формулы (14) определяются значения высот апогея переходных орбит $h_{\alpha1}$ (γ = 0) и $h_{\alpha2}$ (γ = π).

Сразу после входа КА в атмосфере планеты будут справедливы соотношения $h_{\alpha1} > h_{\alpha зад}$ и $h_{\alpha2} < h_{\alpha зад}$, где $h_{\alpha зад}$ – заданная высота апогея формируемой орбиты. Затем, в процессе полета КА с нулевым значением угла крена высота $h_{\alpha2}$ будет возрастать, достигая в определенный момент времени t^* заданной высоты $h_{\alpha зад}$. Начиная с этого момента представляется необходимым уменьшать угол атаки α, обеспечивая тем самым снижение действующей на КА подъемной силы и его полет в более плотных слоях атмосферы. Такое управление углом атаки сначала обеспечивает снижение интенсивности роста высоты $h_{\alpha2}$, а затем по достижении некоторого угла α′ и прекращение роста $h_{\alpha2}$. После этого происходит разворот КА по углу атаки, что соответствует возрастанию подъемной силы и аэродинамического качества. В результате высота $h_{\alpha2}$ начинает уменьшаться, оставаясь в пределах $h_{\alpha2min} < h_{\alpha2} < h_{\alpha2max}$ и приближаясь к нижней границе. В момент достижения $h_{\alpha2}$ заданной высоты апогея $h_{\alpha зад}$ угол атаки α устанавливается равным α*, а угол крена γ принимает

значение, равное π. При таком режиме полета обеспечиваются необходимые условия вылета КА из атмосферы и достижение заданной высоты апогея h_{a2}.

Таким образом, разработан алгоритм расчета оптимального управления КА углами крена и атаки, обеспечивающими максимальную скорость вылета аппарата из атмосферы при последующем формировании спутниковых орбит с заданными высотами апогея.

Результаты применения алгоритма

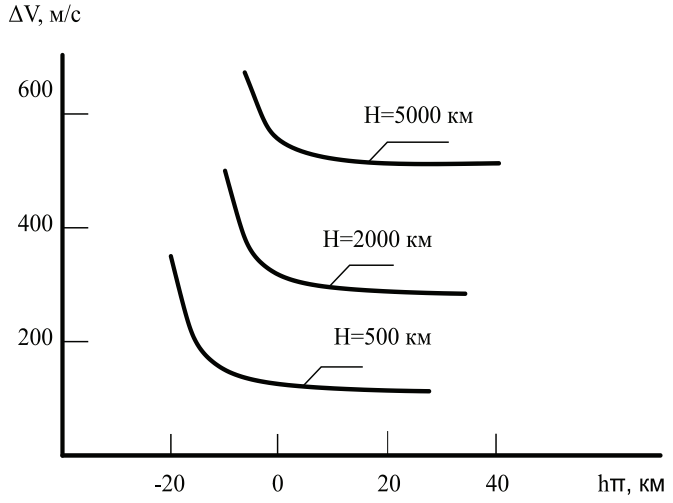
Анализ результатов численного и аналитического решений вариационных задач показал их полное качественное совпадение. Так, в процессе движения КА в атмосфере угол крена изменяется от $\gamma_0 \approx 3–8°$ до $\gamma \approx 172–177°$ (при аналитическом решении угол γ меняется от 0 до 180°). Угол атаки α при входе КА в атмосферу принимает значение α*, соответствующее значению K_{max}, далее происходит увеличение α до значения, соответствующего максимуму коэффициента C_x, а затем α вновь снижается до α* (при аналитическом решении также установлен максимум угла атаки в процессе полета КА).

При формировании круговой орбиты высотой $H = 500$ км для КА, обладающего аэродинамическим качеством $K = 0{,}43$ и приведенной нагрузкой $P_x = 300$ кг/м^2, учитывая возможный разброс параметров атмосферы, максимальный коридор входа Δh_π составляет ±25 км. При этом, верхняя граница $h_{\pi max} = 30$ км – соответствует наименее плотной модели атмосферы, а нижняя граница $h_{\pi min} = –20$ км – наиболее плотной модели. Значения реализуемого коридора входа превосходит величину навигационного коридора (при использовании автономных систем навигации КА $\Delta h_\pi^{нав} = \pm 10–20$ км [2]), что позволяет сделать вывод о возможности осуществления предлагаемой схемы выведения.

Показано, что потребные энергозатраты ΔV существенно зависят от высоты условного перицентра. Причем уменьшение высот h_π от $h_\pi^в$ сначала приводит к незначительному увеличению энергозатрат ΔV, а затем – с приближением h_π к нижней границе коридора $h_\pi^н$ – происходит интенсивное возрастание ΔV (рисунок).

Так, при изменении высоты h_π от 30 до –10 км энергозатраты ΔV практически не меняются и составляют $\Delta V \approx 145$ м/с, дальнейшее снижение h_π до –20 км приводит к росту ΔV до 280 м/с ($H = 500$ км). Зависимости ΔV (h_π) имеют аналогичный характер и для случаев формирования более высоких орбит. При этом значения ΔV увеличиваются с ростом высоты H. Так, при $H = 2000$ км энергозатраты ΔV в зависимости от значений h_π составляют 310–480 м/с, а для $H = 5000$ км – $\Delta V \approx 570–610$ м/с. Представленные данные показывают, что энергетически оптимальным является осуществление входа КА в атмосферу вблизи верхней границы коридора.

В целом для широкого диапазона исходных данных и проектно-баллистических характеристик потребные энергозатраты ΔV не превышают 650 м/с, а при входе КА в атмосферу вблизи верхних границ коридора $h_\pi^в$ и формировании орбит ИСМ с высотами H не более 500 км энергозатраты составляют ~140–150 м/с.



Зависимости потребных энергетических затрат ΔV от высоты условного перицентра траектории входа КА в атмосферу h_π при выведении на круговые орбиты ИСМ с высотами H (K_{max} = 0,34; Px = m/C_xS = 300 кг/м^2).

Для сравнения в случае применения традиционной ракетодинамической схемы формирования спутниковых орбит [7], потребные энергозатраты достигают 2,5–4 км/с, что в 6–10 раз больше, чем при использовании рассмотренной комбинированной схемы.

Заключение

Рассмотрена комбинированная схема выведения космического аппарата на орбиту искусственного спутника Марса, предусматривающая предварительное аэродинамическое торможение КА в атмосфере, перевод на переходную эллиптическую орбиту и подачу разгонного импульса в ее апоцентре.

Разработан новый алгоритм решения задач управления КА на основе введения ряда допущений и преобразования систем уравнений движения и сопряженных переменных.

Показано, что для КА, располагающих аэродинамическим качеством $K_{max} \geq 0{,}3$, коридор входа КА в атмосферу превосходит навигационный коридор, что обеспечивает принципиальную возможность осуществления предлагаемой схемы управления.

Для случаев входа КА в атмосферу вблизи верхней границы коридора потребные энергетические затраты на формирование орбиты ИСМ ~ на порядок меньше, чем при реализации ракетодинамической схемы перевода КА с подлетной гиперболической траектории на заданную орбиту.

Список литературы

1. Авдуевский В.С., Антонов Б.М., Анфимов Н.А. и др. Основы теории полета космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972.

2. Иванов Н.М., Мартынов А.И. Движение космических летательных аппаратов в атмосферах планет. – М.: Наука, 1985.

3. Летов А.М. Динамика полета и управление. М.: Наука. 1969.

4. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1969.

5. Рабочая модель атмосферы и поверхности Марса; под ред. В.И. Мороза. – М.: Институт космических исследований АН, 1975.

6. Шкадов Л.М., Буханова Р.С., Илларионов В.Ф., Плохих В.П. Механика оптимального пространственного движения летательных аппаратов в атмосфере. – М.: Машиностроение, 1972.

7. Эйсмонт Н.А. Оптимальное управление космическим аппаратом, переводимым с гиперболической траектории на орбиту спутника планеты торможением в атмосфере // Космические исследования. – 1972. – Т. X.

8. Ярошевский В.А. Приближенный расчет траектории входа в атмосферу. Ч. I, II // Космические исследования. – 1964. – Т. 2. – Вып. 4, 5.

References

1. Avduevskij V.S., Antonov B.M., Anfimov N.A. i dr. Osnovy teorii poleta kosmicheskih apparatov. [*The theory of space flight*]. Moscow: *Mashinostroyeniye*. 1972.

2. Ivanov N.M., Martynov A.I. Dvizhenie kosmicheskih letatel'nyh apparatov v atmosferah planet [*Movements of spacecraft in atmospheres of planets*]. Moscow: *Science*. 1985.

3. Letov A.M. Dinamika poleta i upravlenie. [*Flight dynamics and control*]. Moscow: *Science*. 1969.

4. Pontrjagin L.S., Boltjanskij V.G., Gamkrelidze R.V., Mishhenko E.F. Matematicheskaja teorija optimal'nyh processov [*Mathematical theory of optimal processes*]. Moscow: *Science*. 1969.

5. Pod red. Moroza V.I. Rabochaja model' atmosfery i poverhnosti Marsa. [*The working model of Mars atmosphere and surface*]. Moscow: *Space Research Institute of the Academy of sciences*. 1975.

6. Shkadov L.M., Buhanova R.S., Illarionov V.F., Plohih V.P. Mehanika optimal'nogo prostranstvennogo dvizhenija letatel'nyh apparatov v atmosphere. [*Mechanics of optimum three-dimensional motion of aircraft in the atmosphere*]. Moscow: *Mashinostroyeniye*. 1972.

7. Jejsmont N.A. Optimal'noe upravlenie kosmicheskim apparatom, perevodimym s giperbolicheskoj traektorii na orbitu sputnika planety tormozheniem v atmosphere. [*Optimal control of spacecraft transferred from hyperbolic trajectory to a planet satellite orbit by braking in the atmosphere*]. *Cosmic research.* Vol. X. 1972.

8. Jaroshevskij V.A. Priblizhennyj raschet traektorii vhoda v atmosferu [*Approximate calculation of the atmospheric reentry trajector*y]. P. I, II // *Cosmic research.* Vol. 2, Issue 4, Issue 5. 1964.

Рецензенты:

Лаврентьев В.Г., д.т.н., заместитель начальника отдела, ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев;

Лобачев В.И., д.т.н., профессор, заместитель начальника Центра управления полетами, ФГУП «Центральный научно–исследовательский институт машиностроения», г. Королев.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 620.17

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАЛОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УСТАЛОСТИ

Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В., Ильиных В.Н.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: Kv.Syzr@gmail.com

Для описания данных разрушения образцов в области малоциклового деформирования использована математическая модель, разработанная в кинетической теории механической усталости. В модель включены два дополнительных параметра. Первый параметр характеризует начальное повреждение материала детали, которое имеет место еще до начала ее циклического деформирования. Второй параметр отражает сопротивление детали росту усталостных трещин. Предложенные ранее способы экспериментального определения значений этих параметров в реальных условиях испытаний деталей получить требуемую информацию не позволяют. В работе рассмотрена задача расчета отмеченных параметров на основе результатов испытаний образцов на долговечность и разработанной математической модели. Задача сведена к решению двух трансцендентных уравнений. На основе построенной математической модели создана методика статистической обработки данных малоцикловых испытаний образцов. Методика проиллюстрирована на примере определения кривой малоцикловой усталости для образцов, изготовленных из гибкой трубы HS80, подвергнутых циклическому деформированию до поломки в условиях мягкого режима нагружения. С использованием предложенной математической модели построена кривая усталости для 50% вероятности разрушения и ряд кривых усталости с различной величиной накопленного усталостного повреждения.

Ключевые слова: предел прочности, циклическое деформирование, малоцикловая усталость, накопление повреждений

THE DATA PROCESSING OF LOW-CYCLE FATIGUE TESTS ON BASE OF KINETIC THEORY OF FATIGUE

Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V., Ilinykh V.N.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: Kv.Syzr@gmail.com

To describe the results of tests of samples destruction in a field of low-cycle deforming authors use mathematical model developed in the kinetic theory of mechanical fatigue. Two additional parameters were included in developed model. First parameter characterizes the initial damage of part material, which exists before cyclic deforming of part. Second parameter describes the part resistance against the growth of fatigue cracks. Proposed earlier methods of experimental determination of these parameters values in real operational tests of parts do not allow to obtain required information. The paper considers the task of calculation of these parameters based on results of sample's longevity tests and developed mathematical model. Described task is leaded to two transcendental equations solving. Developed mathematical model allowed to create the method of statistic data processing for samples low-cycle fatigue tests. The method is illustrated on a example of low-cyclic fatigue curve description for the samples made of HS80 pipe steel, tested in conditions of cyclic deforming to its breakage at constant displacement amplitude. The fatigue curve corresponding to 50% of samples destruction probability and also several fatigue curves characterized by different values of accumulated fatigue damage.

Keywords: tensile strength, cyclic deforming, low-cycle fatigue, damages accumulation

В практике обработки результатов испытаний образцов на циклическую прочность с целью построения кривой усталости (кривой Велера) в настоящее время наибольшее распространение получили регрессионные зависимости [2], являющиеся линейными в системе координат $\log N - \sigma$, где N – число циклов деформирования, σ – максимальная амплитуда напряжения, возникающая в месте разрушения образца. Эти зависимости в рамках статистических моделей рассеивание механических и усталостных свойств материала учитывают, однако какого-либо физического наполнения не имеют. Обеспечение требуемой долговечности и надежности циклически нагружаемых изделий с заданной вероятностью неразрушения связано с необходимостью использования более сложных моделей, отражающих процесс накопления усталостных повреждений в изделиях. Именно такие модели разработаны в кинетической теории механической усталости [1]. Наиболее важным практическим значением этой теории является возможность построения кривых усталости, соответствующих различной величине поврежденности материала (D): от $D = D_0 \geq 0$, характеризующей начальное повреждение материала детали, которое имеет место еще до начала ее циклического деформирования, вплоть до предельной величины $D = D_k \leq 1$, соответствующей разрушению детали (образца) вследствие накопленных усталостных повреждений.

Целью настоящей работы является построение алгоритмов обработки данных малоцикловых испытаний (совокупности $i=\overline{1,n}$ значений напряжений σ_i и числа циклов N_i до разрушения образцов) на основе полуэмпирических моделей, разработанных в рамках кинетической теории усталости, а также методики расчета границ доверительных интервалов кривой малоцикловой усталости.

Математическая модель кривой малоцикловой усталости

В работе [1] для описания кривой многоцикловой усталости получено выражение

$$N=\frac{Q}{\sigma}\ln\left\{1+\left[\exp\left(\frac{\sigma-\sigma_r}{\sigma_r-\sigma_{rT}}\right)-1\right]^{-1}\right\}, \quad (1)$$

где N – число циклов нагружения; σ – максимальное напряжение цикла; Q – коэффициент выносливости; σ_r – предел выносливости детали при коэффициенте асимметрии цикла r; σ_{rT} – циклический предел текучести (ниже его уровня следы пластической деформации даже после нескольких миллионов циклов нагружения отсутствуют).

Определение значений параметров σ_r, σ_{rT} и Q зависимости (1) на основе имеющейся совокупности данных разрушения образцов σ_i, N_i, $i=\overline{1,n}$ выполняется путем минимизации функции [4, 3]:

$$\Phi(Q,\sigma_r,\sigma_{rT})=\sum_{i=1}^{n}\left\{N_i-\frac{Q}{\sigma_i}\ln\left\{1+\left[\exp\left(\frac{\sigma_i-\sigma_r}{\sigma_r-\sigma_{rT}}\right)-1\right]^{-1}\right\}\right\}^2\xrightarrow[Q,\sigma_r,\sigma_{rT}]{}\min, \quad (2)$$

построенной в соответствии с методом наименьших квадратов.

Математическое описание кривой усталости в малоцикловой области ($N\le 10^5$) представлено в работе [1] выражением

$$\sigma=\sigma_B+\vartheta\cdot\lg\left(\frac{N}{H}+1\right), \quad (3)$$

где σ_B – предел прочности материала; ϑ – угол наклона кривой усталости в системе координат $\log N$ – σ; H – число циклов деформирования до верхней точки перегиба кривой малоцикловой усталости, рассчитываемое по выражению (1) при $\sigma=\sigma_B$:

$$H=\frac{Q}{\sigma_B}\ln\left\{1+\left[\exp\left(\frac{\sigma_B-\sigma_r}{\sigma_r-\sigma_{rT}}\right)-1\right]^{-1}\right\}, \quad (4)$$

в котором коэффициент Q описывается зависимостью

$$Q=-Q_T\ln\left[1-\exp\left(-\frac{D_0}{1-D_0}\times\frac{\sigma}{\sigma_r-\sigma_{rT}}\cdot\frac{\sigma_B}{\sigma_B-\sigma_r}\right)\right], \quad (5)$$

где Q_T – коэффициент, характеризующий сопротивление детали росту усталостных трещин.

В работе [1] отмечено, что величины D_0 и Q_T могут быть определены на основе: зафиксированных длин усталостных трещин, измерении поврежденных площадей испытуемых деталей, путем расчета моментов инерции поврежденных сечений деталей. Однако в реальных условиях испытаний получение такой информации часто весьма затруднено, а в подавляющем большинстве случаев просто невозможно. Тем не менее знание начального D_0 и предельного значения параметра D_k позволяет при заданной величине действующего напряжения σ и числа циклов нагружения N оценить достигнутый уровень текущей поврежденности материала D и в конечном итоге, реализовать процедуру расчета остаточной долговечности детали (образца).

Для кривой многоцикловой усталости (1) задача определения величин D_0 и Q_T на основе данных усталостных испытаний образцов σ_i, N_i, $i=\overline{1,n}$ впервые решена в работе [4]. В настоящей работе подобная задача решается для кривой малоцикловой усталости (3).

Воспользуемся зависимостью (5), которую преобразуем следующим образом:

$$\exp(-Q/Q_T)+\exp\left[-\frac{D_0}{1-D_0}\times\frac{\sigma}{(\sigma_r-\sigma_{rT})}\cdot\frac{\sigma_B}{(\sigma_B-\sigma_r)}\right]=1. \quad (6)$$

После решения задачи (2) значения параметров σ_r, σ_{rT} и Q на основе имеющейся совокупности данных усталост-

ных испытаний σ_i, N_i, $i=\overline{1,n}$ определены: σ_r^*, σ_{rT}^* и Q^*. В этом случае выражение (6) получает вид

$$\exp\left(\frac{-Q^*}{Q_T}\right)+\exp\left[-\frac{D_0}{1-D_0}\times\right.$$
$$\left.\times\frac{\sigma}{(\sigma_r^*-\sigma_{rT}^*)}\cdot\frac{\sigma_B}{(\sigma_B-\sigma_r^*)}\right]=1. \quad (7)$$

Зададимся средним значением предела прочности $\sigma_B=\overline{\sigma_B}$. Тогда в уравнении (7) неизвестными являются только два параметра: D_0 и Q_T. Для их определения воспользуемся следующим приемом. Поскольку величина D_0 характеризует поврежденность материала в исходном состоянии, ее значение от величины действующего напряжения (σ) при деформировании образца не зависит. То есть D_0 является постоянной для всего диапазона изменения напряжений σ. Если, в дополнение к отмеченному, предположить, что и коэффициент Q_T в диапазоне изменения напряжений $\sigma_r^*\le\sigma\le\overline{\sigma_B}$ также является величиной постоянной, то для расчета D_0 и Q_T войдем в уравнение (7) дважды: при напряжении $\sigma=\overline{\sigma_B}$ и $\sigma=\sigma_r^*$. В результате получим

$$\left.\begin{aligned}&\exp\left(-Q^*/Q_T\right)+\exp\left[-\frac{D_0}{1-D_0}\cdot\frac{\overline{\sigma_B}}{\left(\sigma_r^*-\sigma_{rT}^*\right)}\cdot\frac{\overline{\sigma_B}}{\left(\overline{\sigma_B}-\sigma_r^*\right)}\right]=1;\\&\exp\left(-Q^*/Q_T\right)+\exp\left[-\frac{D_0}{1-D_0}\cdot\frac{\sigma_r^*}{\left(\sigma_r^*-\sigma_{rT}^*\right)}\cdot\frac{\overline{\sigma_B}}{\left(\overline{\sigma_B}-\sigma_r^*\right)}\right]=1.\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Решая систему (8) двух трансцендентных относительно D_0 и Q_T уравнений с использованием численных методов, определим искомые значения D_0^* и Q_T^*.

Принимая во внимание, что текущая поврежденность материала описывается выражением (5) при замене D_0 на D, и учитывая результат решения системы (8), математическую модель кривой малоцикловой усталости (4) преобразуем к виду

$$N=\left(1-10^{\frac{\sigma-\overline{\sigma_B}}{\vartheta}}\right)\cdot Q_T^*\cdot B_0\cdot\ln\left[1-\exp\left(-\frac{D\cdot\overline{\sigma_B}}{(1-D)\left(\sigma_r^*-\sigma_{rT}^*\right)\left(\overline{\sigma_B}-\sigma_r^*\right)}\cdot\sigma\right)\right], \quad (9)$$

где
$$B_0=\frac{\ln\left\{1+\left[\exp\left(\frac{\overline{\sigma_B}-\sigma_r^*}{\sigma_r^*-\sigma_{rT}^*}\right)-1\right]^{-1}\right\}}{\overline{\sigma_B}}.$$

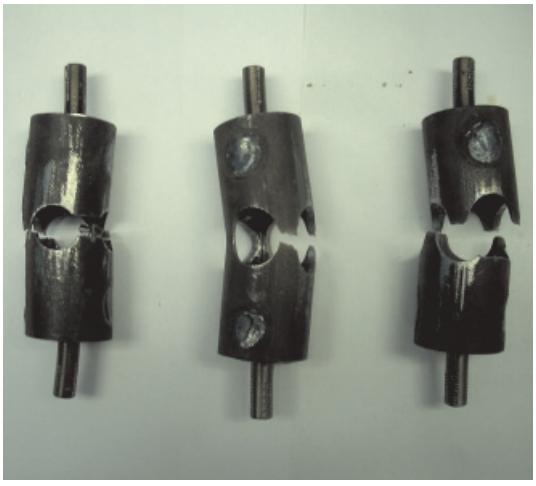


Рис. 1. Разрушенные образцы гибких труб

Обработка данных малоцикловых испытаний образцов

На основе модели (9) осуществим обработку данных малоцикловых испытаний образцов из гибкой трубы HS-80. В результате растяжения образцов гибкой трубы на разрывной машине до разрушения (рис. 1) определено значение $\overline{\sigma_B}=602{,}1$ МПа. В процессе малоциклового деформирования вырезанных из гибкой трубы экспериментальных образцов прямоугольной формы на стенде (рис. 2) в условиях жесткого нагружения, получена совокупность данных N_i, σ_i, $i=\overline{1,40}$. Обработка их в соответствии с вышеизложенной методикой позволила установить параметры модели (9): $\vartheta=-121{,}811$; $Q_T^*=1{,}53\cdot10^6$; $\sigma_r^*=263{,}621$ МПа; $\sigma_{rT}^*=201{,}914$ МПа.

Рис. 2. Стенд для испытаний образцов

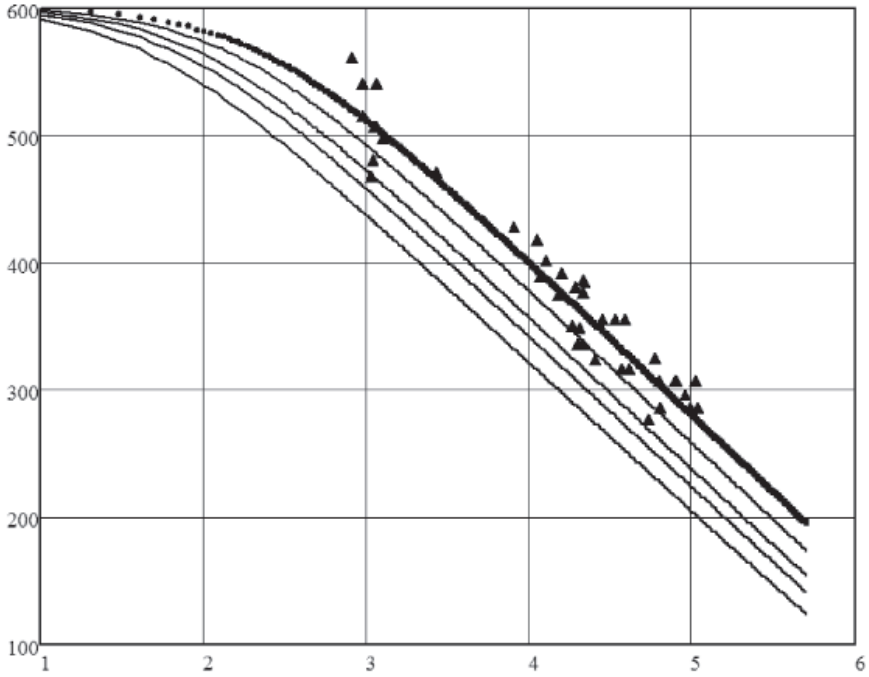


Рис. 3. Кривые малоцикловой усталости с различной величиной поврежденности материала (гибкая труба HS-80)

На рис. 3 в координатах log $N - \sigma$ представлены экспериментальные точки и ряд кривых усталости с величиной поврежденности:

$$D = D_0^* = 6{,}006 \cdot 10^{-11} \text{ (толстая линия);}$$

$$10^{-7};\ 10^{-5};\ 10^{-4};\ 10^{-3}.$$

Анализируя рис. 3, нетрудно видеть, что при $D = D_0$ и $\sigma_B = \overline{\sigma}_B$ выражение (9) описывает кривую усталости (толстая линия), соответствующую 50% вероятности разрушения образцов. По мере увеличения поврежденности материала кривая усталости смещается влево, в область с меньшей долговечностью образцов.

Математическая модель кривой малоцикловой усталости в виде (9) позволяет не только определять снижение числа циклов деформирования образцов до разрушения в зависимости от накопленного усталостного повреждения, но и решать задачу определения эквивалентного по повреждающему воздействию напряжения при заданном

блоке изменения нагрузки. Методика решения этой задачи, разработанная на основе построенной математической модели (9), представлена в работе [5].

Заключение

На базе кинетической теории механической усталости построена математическая модель кривой Велера для малоцикловой области испытаний, отражающая процесс накопления усталостных повреждений в ходе циклического деформирования образцов. На основе полученных в ходе испытаний образцов на малоцикловую усталость экспериментальных данных разработаны алгоритмы определения параметров модели. С использованием разработанной модели обработаны данные малоцикловых усталостных испытаний образцов из гибкой трубы.

Список литературы

1. Почтенный Е.К. Кинетическая теория механической усталости и ее приложения. – Минск: Наука и техника, 1973. – 213 с.

2. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

3. Сызранцев В.Н., Ильиных В.Н. и др. Определение прочностных свойств стали гибких труб // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 4. – С. 76–77.

4. Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В., Голофаст С.Л., Иванова Ю.С. Развитие кинетической теории усталости // Безопасность критических инфраструктур и территорий: сборник трудов I и II Всероссийских конференций и XI и XII школ молодых ученых 2007–2008 гг. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009 – С. 230–233.

5. Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В., Черная Л.А. Расчет эквивалентных по повреждающему воздействию напряжений // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – № 10. – С. 30–35.

References

1. Pochtenny E.K. Kineticheskaya teoriya mekhanicheskoy ustalosti i ee prilozheniya [*Kinetic theory of mechanical fatigue and its application*], Minsk, Science and engineering, 1973, 213p.

2. Stepnov M.N. Statisticheskie metody obrabotki rezultatov mekhanicheskikh ispytaniy [*Statistical methods of mechanical test data processing*] Moscow, Mashinostroenie, 1985, 232 p.

3. Syzrantsev V.N., Ilinykh V.N. Territoriya NEFTEGAZ, 2013, no. 4, pp. 76–77.

4. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V., Golofast S.L., Ivanova Yu.S. Bezopasnost' kriticheskikh infrastruktur i territoriy, Sbornik trudov I i II Vserossijskikh konferenciy, Ekaterinburg, UrO RAN, 2009, pp. 230–233.

5. Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V., Chernaya L.A. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie, 2013, no. 10, pp. 30–35.

Рецензенты:

Лопатин Б.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Техническая механика», ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), филиал ЮУрГУ, г. Златоуст;

Трубачёв Е.С., д.т.н., профессор, и.о. зав. кафедрой «Конструкторско-технологическая подготовка машиностроительных производств», ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», г. Ижевск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 664.649

ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ИЗ ЛИСТЬЕВ ЛЮЦЕРНЫ НА СВОЙСТВА ВАФЕЛЬНЫХ ХЛЕБЦЕВ

Тарасенко Н.А., Красина И.Б.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: natagafonova@mail.ru

Современный потребитель все больше уделяет внимания своему внешнему виду и здоровью. Авторами исследовано влияние продуктов переработки бобовых культур на структурно-механические свойства полуфабрикатов и потребительские качества готовых вафельных хлебцев. В связи с этим статья, посвященная эффективности использования порошка из листьев люцерны в качестве функционального ингредиента для кондитерской промышленности, является весьма актуальной. Люцерну используют в виде натурального красителя и функциональной добавки. Благодаря развитой корневой системе люцерна получает из почвы повышенную дозу питательных веществ. В ее составе присутствуют витамины B, D, E, K, P и провитамин A, а также несколько видов полезных белков и хлорофилл. При внесении ПЛЛ в рецептуру вафельных хлебцев в дозировке от 3 до 7% влажность теста и готовых изделий незначительно уменьшается, а плотность и щелочность увеличивается по сравнению с контрольным образцом.

Ключевые слова: листья люцерны, хлебцы, применение, пищевая промышленность

INFLUENCE OF POWDER FROM LEAVES OF LUCERNE ON PROPERTIES OF WAFER SMALL LOAFS

Tarasenko N.A., Krasina I.B.

FGBOU VPO «Kuban state technological university», Krasnodar, e-mail: natagafonova@mail.ru

The modern consumer gives attention to the appearance and health more and more. Authors investigated influence of products of processing of bean cultures on structural and mechanical properties of semi-finished products and consumer qualities of ready wafer small loafs. In this regard article devoted to efficiency of use of powder from lucerne leaves as functional ingredient for the confectionery industry is very actual. Lucerne is used in the form of natural dye and a functional additive. Thanks to the developed root system, the lucerne receives the raised dose of nutrients from the soil. At its structure there are vitamins B, D, E, K, R and pro-vitamin A, and also some types of useful proteins and a chlorophyll. When entering PLL into a compounding of wafer small loafs in a dosage from 3 to 7% humidity of dough and finished products slightly decreases, and density and alkalinity increases in comparison with a control sample.

Keywords: lucerne leaves, small loafs, application, food industry

Хлебцы – уникальный и диетический продукт. Это продукт 21 века. Хлебцы по своему составу намного полезней, чем обычный хлеб, так как хлебцы изготавливаются из муки низших сортов, в которой намного больше витаминов, минералов, которые так полезны для нашего организма, для его работы, нормального функционирования. Следующей причиной того, что хлебцы намного полезней хлеба, является то, что в них перед приготовлением добавляют специальные пищевые добавки в любых количествах. А при производстве хлеба при добавление большого количества отрубей тесто будет рыхлым и не пригодным для выпекания. Используют такие добавки, как пшеничные отруби, бета-кератин, морская капуста, морковь и т.д. Еще одним важным достоинством хлебцев является то, что в них нет дрожжей. Благодаря этому их могут есть люди, которые отказываются от обычного хлеба [1].

В настоящее время стараются внедрять в рецептуры кондитерских изделий лекарственные растения. Это связано с ухудшением нашей экологии, а также ограниченными возможностями использования естественных растительных ресурсов. Именно поэтому важная роль отводится культивируемым кормовым растениям, поскольку введение дикорастущих растений в культуру решает многие ресурсные проблемы [5].

Использование известных ценных сельскохозяйственных культур, особенно представителей семейства бобовых, которые богаты всеми необходимыми жизненно важными биологически активными соединениями, является актуальным для производства функциональных продуктов питания. Одним из таких представителей является люцерна. В основном она является продуктом, идущим на корм скоту. Но в кондитерской промышленности также используется в виде натурального красителя и функциональной добавки. Благодаря развитой корневой системе люцерна получает из почвы повышенную дозу питательных веществ. В ее составе присутствуют витамины B, D, E, K, P и провитамин A, а также несколько видов полезных белков и хлорофилл [2].

Основным отмечаемым преимуществом употребления люцерны в пищу является содержание в её семенах и листьях сапонина. Его молекула, попадая в желудочно-кишечный тракт, оказывает небольшое раздражающее действие на все имеющиеся слизистые. При этом происходит усиление секреции соответствующих желез, что в конечном итоге благоприятно сказывается на работе организма. Еще одним полезным свойством люцерны является наличие в ее составе фтора природного происхождения. Как известно, этот элемент борется с развитием кариеса и участвует в формировании зубной эмали. А благодаря наличию витамина Д люцерна применяется для профилактики рахита и остеопороза [4].

Порошок из люцерны – зеленовато-коричневый мелкодисперсный порошок с характерным запахом и вкусом, полученный из листьев люцерны с помощью высушивания в затемненном месте при температуре 34–37 °С до содержания сухих веществ 88–89 %.

Добавление порошка из люцерны в производстве продуктов питания придает им следующие оздоровительные профилактические свойства:

– повышает защитные свойства организма;

– выводит из организма токсические вещества;

– нормализует обменные процессы;

– полезно при гастритах, язвенной болезни желудка и других заболеваниях желудочно-кишечного тракта;

– улучшает общее самочувствие;

– повышает эмоциональный тонус.

Функциональные свойства порошка:

– увеличивает срок хранения готовых изделий;

– низкая водопоглотительная способность.

Нами исследована возможность получения вафельных хлебцев с использованием порошка из листьев люцерны (ПЛЛ). За контрольный образец принимали рецептуру вафельных хлебцев по традиционной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо было исследовать влияние продуктов переработки бобовых культур на структурно-механические свойства полуфабрикатов и потребительские качества готовых вафельных хлебцев. Для этого в вафельное тесто вносили порошок из листьев люцерны в тесто в смеси с мукой в количестве от 3 до 7 % от массы муки в тесте с шагом 1 %.

При внесении ПЛЛ в рецептуру вафельных хлебцев в дозировке от 3 до 7 % влажность теста незначительно уменьшается по сравнению с контрольным образцом, что связано с низкой влажностью ПЛЛ (8,5 %), которая ниже влажности заменяемой муки (рис. 1).

Так, при внесении 3 % ПЛЛ в рецептуру вафельных хлебцев влажность теста уменьшается на 0,2 %, при 7 % – на 1,6 % .

Относительную плотность теста определяли как отношение плотности исследуемого вещества к плотности «стандартного» вещества в определенных физических условиях. При внесении ПЛЛ в рецептуру вафельных хлебцев наблюдается изменение относительной плотности теста и щелочности готовых изделий (рис. 2). По сравнению с контролем плотность теста увеличилась на 1,4 % при внесении 3 % добавки, а щелочность на 22 %, а при внесении 7 % ПЛЛ плотность на 5,6 % и щелочность на 77 %. Это связано с особенностью химического состава вносимого порошка люцерны.

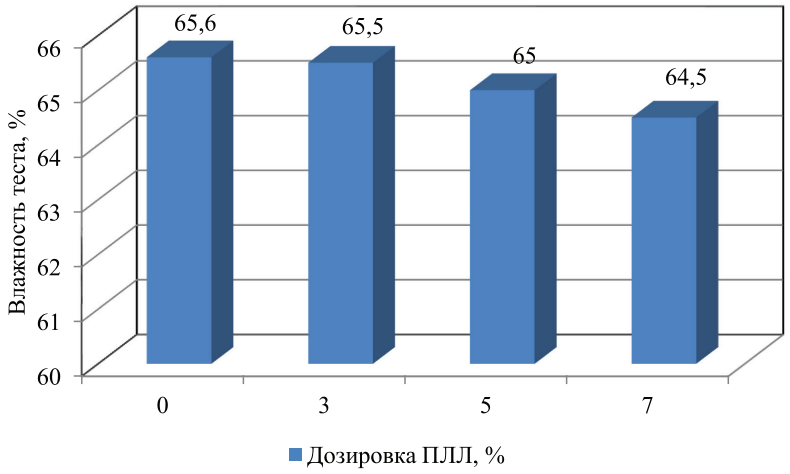


Рис. 1. Изменение влажности теста от дозировки порошка из люцерны

Влажность готовых изделий значительно уменьшается по сравнению с контролем (рис. 3), на 56% при внесении 3% добавки, на 65% – при внесении 5%. Это связано с влажностью люцерны, которая ниже влажности муки практически в 2 раза и с ее высокой водопоглотительной способностью. Это хорошо сказывается на сроке хранения готовых изделий.

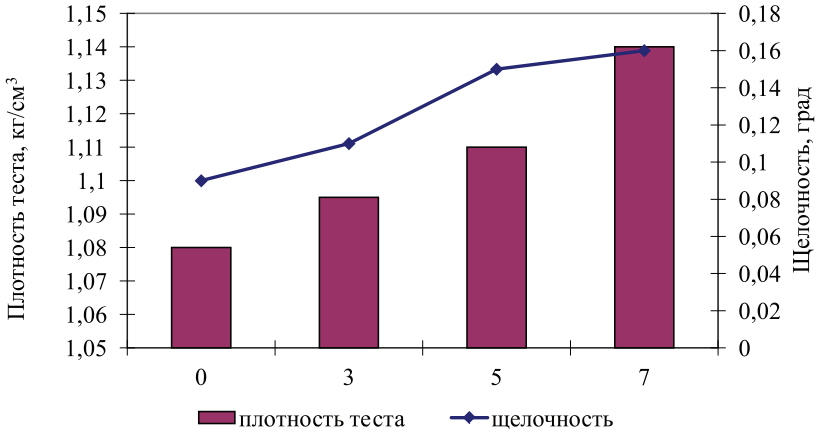


Рис. 2. Плотность теста и щелочность готовых изделий в зависимости от дозировки ПЛЛ

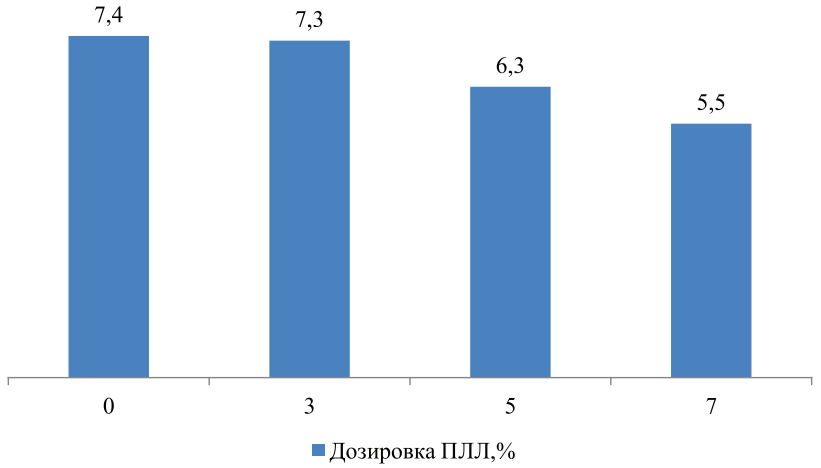


Рис. 3. Влажность готовых изделий в зависимости от дозировки ПЛЛ

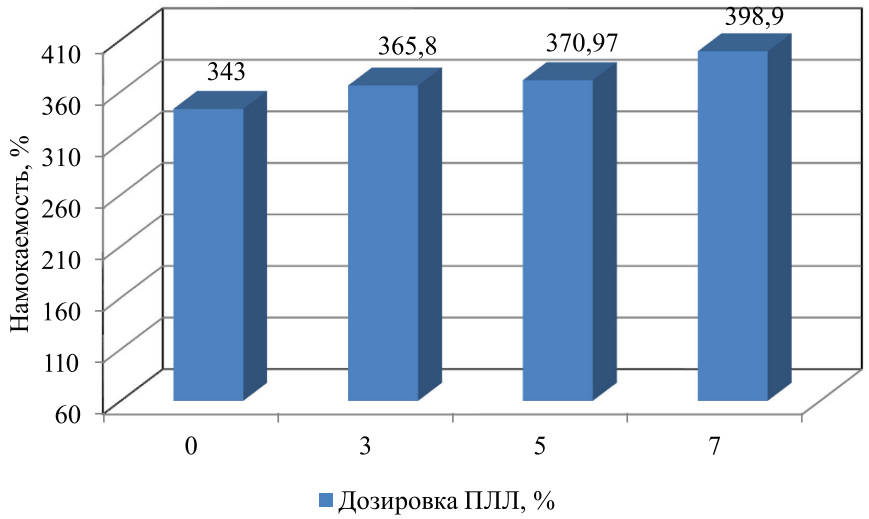


Рис. 4. Намокаемость готовых изделий

Намокаемость вафельных хлебцев зависит от плотности и разрыхленности готового изделия: чем ниже плотность и более пористые изделия, тем выше намокаемость, что в свою очередь может быть связано с высокой водопоглотительной способностью ПЛЛ (рис. 4). Так, при внесении 3 % ПЛЛ в рецептуру вафельных хлебцев намокаемость готовых изделий увеличивается на 6,6 %, при 7 % – на 16,3 %.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наилучшие показатели у вафельных хлебцев с заменой муки на ПЛЛ в количестве 5 %, что также подтверждают и органолептические показатели. По результатам исследований разработана рецептура вафельных хлебцев «Фитнес» и получен патент РФ на изобретение «Вафельные хлебцы» [3].

Готовая продукция по органолептическим и физико-химическим показателям полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 9846-88 «Хлебцы хрустящие. Технические условия».

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-1133.2014.4) по теме «Разработка инновационных технологий и рецептур кондитерских изделий функционального назначения с использованием симбиотиков».

Список литературы

1. Ерашова Л.Д. Использование нетрадиционных источников белка растительного происхождения / Л.Д. Ерашова и др. // Пищевая промышленность. – 2009. – № 10. – С. 14–15.

2. Зюзько А.С., Сорокина А.В., Тарасенко Н.А. Влияние пофазного внесения муки из люцерны на качество хлеба из пшеничной муки // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 4. – С. 75–77.

3. Тарасенко Н.А., Головнева А.В., Кожина А.С., Пилюк О.А. Вафельные хлебцы // Патент России № 2538109. 2013. Бюл. 1.

4. Тарасенко Н.А., Красина И.Б., Кожина А.С. Разработка рецептуры вафельных хлебцев с использованием нетрадиционных источников белка растительного происхождения // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2014. – № 1. – С. 27–29.

5. Формирование потребительских свойств вафельных изделий специального назначения / Е.В. Филиппова, И.Б. Красина, Н.А. Тарасенко и др. // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 2–3. – С. 110–112.

References

1. Erashova L.D. Ispol'zovanie netradicionnyh istochnikov belka rastitel'nogo proishozhdenija / Erashova L.D. [i dr.] // Pishhevaja promyshlennost' no. 10. 2009. pp. 14–15.

2. Zjuz'ko A.S., Sorokina A.V., Tarasenko N.A. Vlijanie pofaznogo vnesenija muki iz ljucerny na kachestvo hleba iz pshenichnoj muki // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. 2013. no. 4. pp. 75–77.

3. Tarasenko N.A., Golovneva A.V., Kozhina A.S., Piljuk O.A. Vafel'nye hlebcy // Patent Rossii no. 2538109. 2013. Bjul. 1.

4. Tarasenko N.A., Krasina I.B., Kozhina A.S. Razrabotka receptury vafel'nyh hlebcev s ispol'zovaniem netradicionnyh istochnikov belka rastitel'nogo proishozhdenija // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. 2014. no. 1. pp. 27–29.

5. Formirovanie potrebitel'skih svojstv vafel'nyh izdelij special'nogo naznachenija / E.V. Filippova, I.B. Krasina, N.A. Tarasenko [i dr.] // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. 2013. no. 2–3. pp. 110–112.

Рецензенты:

Шаззо А.Ю., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии зерновых, хлебных, пищевкусовых и субтропических продуктов, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар;

Тимофеенко Т.И., д.т.н., профессор кафедры технологии жиров, косметики, товароведения, процессов и аппаратов, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 538.951-405

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Фандеев В.П., Самохина К.С.

ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: skristina1990@rambler.ru

Статья содержит анализ противоречий, порождающих проблему конструирования протезов межпозвонковых дисков, концепцию, системные и конструкторские принципы разрешения противоречий оптимальным и компромиссным сочетанием анатомической и функциональной совместимости, надёжности и технологичности конструкции с биосовместимостью конструкционных материалов. Показано, что оптимальное сочетание совместимости, надежности и технологичности конструкции в непассивной биологической среде труднодостижимо. Рассматриваются конструкции функциональных протезов межпозвонковых дисков. Приведена классификация и примеры конструкционных материалов протезов межпозвонковых дисков. Перспективными конструкционными материалами опорных пластин протезов остаются биосовместимые сплавы и неметаллы с упругостью, подобной упругости костной ткани. Предлагаемая технология может быть использована при формировании микропористости поверхности деталей эндопротезов для улучшения их интеграции с костной тканью. Материал статьи может быть полезен разработчикам хирургических имплантатов, специалистам по хирургии позвоночника и пациентам, выбирающим тип протеза.

Ключевые слова: протез межпозвонкового диска, биологическая совместимость протеза, биологически совместимые материалы, остеоинтеграция протеза

FABRICATION DESIGN PROSTHETIC DEVICE BETWEEN VERTEBRA DISK

Fandeev V.P., Samokhina K.C.

Penza State University, Penza, e-mail: skristina1990@rambler.ru

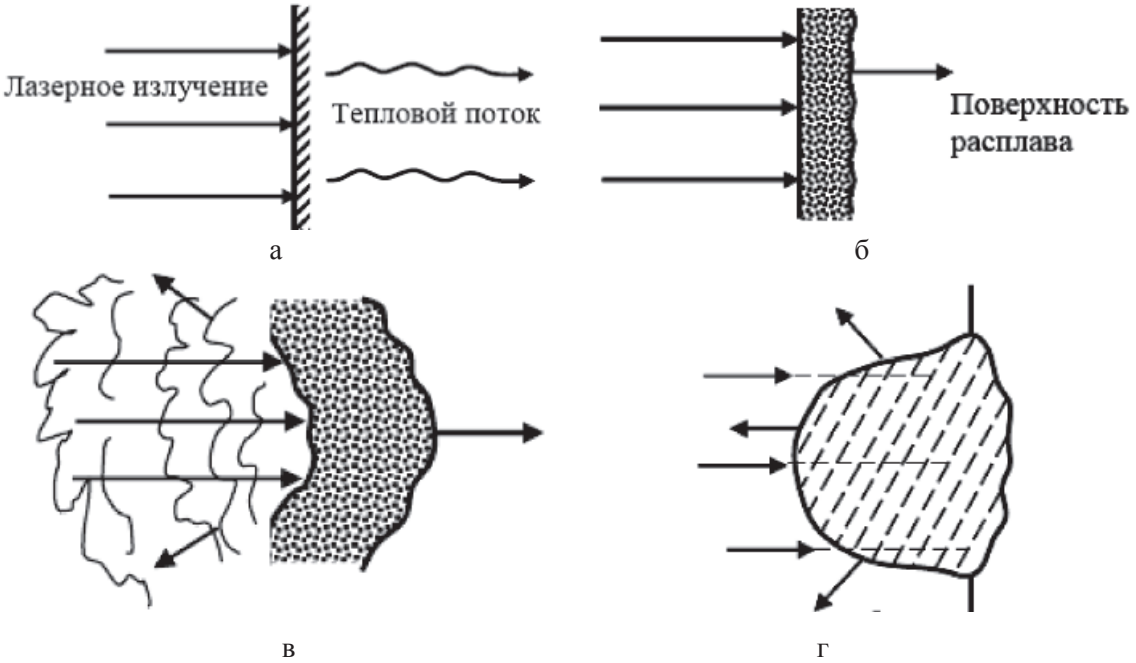
This article presents an analysis of contradictions leading to design problem of intervertebral disc prostheses. It describes a concept, the systems and design principles of resolving the contradictions by a compromise settlement of anatomical and functional interoperability, reliability, product manufacturability and biocompatibility of structural materials. It is shown that optimum combination to compatibility, reliability and ease of manufacturing to designs in not passive to biological ambience it is difficult achievable. The designs functional prosthetic device between vertebra disk are considered. The broughted categorization and examples design a material prosthetic device between vertebra disk. Perspective design material of the supporting plates prosthetic device remain the bio compatible alloys and metalloids with bounce, like by bounce bone fabrics. Proposed technology can be used when shaping microporosity to surfaces of the details andy-prosthetic device for improvement of their integrations with bone fabrics. Material of the article is useful for developers of surgical implants, spinal surgeons and for patients choosing a type of prosthesis.

Keywords: intervertebral disc prostheses, biocompatibility of prostheses, biocompatible materials, implant osseointegration

Материалы с пористой структурой обладают специфическими свойствами. Для пористых материалов характерны, например, диффузионная проницаемость, малое гидродинамическое сопротивление, фильтрующая способность, высокие адсорбционные свойства, малые звукопроводность и теплопроводность, способность интеграции с биологическими тканями. Способность интеграции с биологической тканью материалов с пористой структурой используется в конструкции хирургических имплантатов для остеосинтеза. Пористая структура конструкционного материала способствует прорастанию костной ткани в микропоры, вживлению имплантата.

Пористая структура конструкционных материалов имплантатов формируется методами порошковой металлургии, нанесением пористых покрытий, травлением. Существенными недостатками традиционных технологий формирования пористой структуры имплантатов являются трудноуправляемость процессов формирования структуры с требуемыми параметрами, опасность отслоения покрытия, наличие и образование биоопасных примесей и химических соединений. Перечисленные недостатки не характерны для технологии формирования макропористой структуры лазерной обработкой.

Лазерное излучение, направляемое на обрабатываемую поверхность, поглощается материалом, и материал нагревается (рисунок) [3]. Результаты теплофизического взаимодействия лазерного излучения с материалом зависят от коэффициента поглощения материала на длине волны излучения лазера, пиковой мощности, длительности воздействия на материал. Теплофизику лазерного нагревания необходимо учитывать при разработке любого технологического процесса лазерной обработки [1, 5, 6].



Процессы теплофизического взаимодействия лазерного излучения с материалом: а – поглощение лазерного излучения; б – нагревание до температуры плавления и плавление после поглощения удельной теплоты плавления $L_{пл}$; в – нагревание до температуры кипения и испарение после поглощения удельной теплоты парообразования $L_и$; г – образование плазмы

Выделившееся тепло распространяется вглубь материала за счёт теплопроводности. Материал нагревается до температуры плавления, жидкая фаза распространяется вглубь материала. При дальнейшем облучении материал нагревается до температуры кипения, испаряется, а пары ионизируются. Давлением паров расплав расплёскивается и в материале постепенно формируется отверстие.

Если интенсивность излучения слишком велика, то в результате испарения образуется высокотемпературная непрозрачная плазма, которая может распространяться навстречу лазерному пучку. Облако плазмы поглощает падающее лазерное излучение и экранирует поверхность образца, препятствуя дальнейшему воздействию лазерного пучка на материал.

Несмотря на разнообразие физических процессов при лазерной обработке, главным из них является процесс испарения. Испарением определяется выполнение различных технологических операций, в том числе обработка отверстий, структурирование поверхности материала [3, 5].

На начальной стадии формирования отверстия его диаметр изменяется незначительно, а глубина линейно растёт со временем вследствие испарения материала со всей площади светового пятна. В дальнейшем сочетание интенсивного плавления стенок отверстия и выброс жидкой фазы приводит к замедлению скорости увеличения глубины отверстия, глубина и радиус растут пропорционально $\sqrt[3]{t}$, форма отверстия перестаёт изменяться.

После окончания лазерного воздействия жидкая фаза на стенках отверстия отвердевает, и форма отверстия может существенно отличаться от теоретической формы, определяемой формой лазерного пучка, кинетикой испарения и гидродинамикой жидкой фазы. Формирование большого количества жидкой фазы и её неполное удаление приводит к снижению качества лазерной обработки. Снижение количества и удаление жидкой фазы является трудноразрешимой задачей технологии лазерной обработки.

Увеличение количества жидкой фазы происходит под влиянием таких факторов, как уменьшение плотности светового потока из-за постепенной расфокусировки лазерного пучка с ростом глубины отверстия, длительности воздействия, неоднородности распределения интенсивности лазерного пучка по сечению из-за модовой структуры. Следовательно, для уменьшения количества жидкой фазы необходимо оптимизировать параметры лазерного пучка:

1) энергетические и временные характеристики лазерного излучения, которые зависят от типа лазера, его устройства;

2) пространственные характеристики лазерного пучка в месте обработки, которые

зависят от особенностей оптической системы технологического лазерного комплекса и параметров самого лазерного излучения.

Качество обработанного отверстия зависит от мощности излучения P, длины волны λ, длительности импульса τ, частоты следования импульсов f, пространственных характеристик модовой структуры излучения, расходимости лазерного пучка α.

Пороговая (критическая) плотность мощности непрерывного лазерного излучения, необходимая для нагревания поверхности до температуры испарения (пороговая плотность мощности испарения материала), вычисляется по формуле [2]

$$q_{н} = \frac{kT_{и}}{Ar_0}, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопроводности; $T_{и}$ – температура испарения; A – коэффициент поглощения; r_0 – радиус поперечного сечения лазерного пучка в фокальной плоскости.

Пороговая плотность мощности импульсного лазера вычисляется по формуле

$$q_{и} = \frac{kT_{и}}{2A}\sqrt{\frac{\pi}{a\tau}}, \quad (2)$$

где a – коэффициент теплопроводности; τ – длительность лазерного импульса.

Зная пороговую плотность мощности испарения обрабатываемого материала, можно определить пороговую мощность лазерного излучения по формуле [2]

$$P_{пор} = qS, \quad (3)$$

где S – площадь лазерного пятна в фокусе линзы, определяемая по формуле

$$S = \pi r_0^2$$

Таким образом, с энергетической точки зрения импульсный режим работы лазера при обработке отверстия предпочтительнее непрерывного режима работы.

Мощность излучения лазера должна обеспечивать нагревание поверхности до температуры испарения $T_{и} \leq 10000$ К (например, для вольфрама $T_{и} = 5600$ К). Для этой температуры можно вычислить необходимую плотность мощности по формуле (2). Например, для стали при $\tau = 10^{-4}$ с плотность мощности составляет примерно $3 \cdot 10^6$ Вт/см^2. С учётом потерь в оптической системе можно принять необходимую плотность мощности 10^7 Вт/см^2. Тогда мощность лазера, вычисляемая по формуле (3), при радиусе поперечного сечения пучка в фокальной плоскости 100 мкм составляет примерно 1 кВт.

Итак, необходимая мощность излучения лазера (импульсная или непрерывная) при лазерной обработке должна составлять около 1 кВТ.

Длина волны лазера должна лежать в спектральной области, где обрабатываемый материал имеет больший коэффициент поглощения.

Например, для металлов целесообразно использовать лазеры, генерирующие излучение в видимой области спектра, для обработки стекла – лазеры инфракрасного диапазона, а для полимеров – ультрафиолетовые лазеры.

Длина волны определяет диаметр светового пятна в месте фокусировки лазерного пучка на обрабатываемой поверхности [4]:

$$d = 1,2\lambda\frac{f}{D}M^2, \quad (4)$$

где f – фокусное расстояние объектива; D – диаметр исходного (не сфокусированного лазерного пучка); M^2 – коэффициент, характеризующий отличие излучения технологического лазера от идеального гауссовского пучка с минимально возможной дифракционной расходимостью.

Чем короче длина волны лазерного излучения и меньше угловая расходимость лазерного пучка, тем в меньшее пятно можно его сфокусировать, а следовательно, тем меньше будет размер зоны воздействия.

На практике возможно достижение размера зоны воздействия в единицы микрометров для излучения видимого диапазона спектра и доли микрометров для ультрафиолетового излучения.

Чем меньше длительность импульса лазерного излучения, тем меньшее тепловое и деформационное влияние оно оказывает на обрабатываемый материал вне зоны облучения. Если импульс излучения достаточно короткий, а плотность энергии достаточно высокая, то малый объём металла может расплавиться и испариться до того, как тепло из зоны облучения успеет распространиться в окружающий металл.

На практике при облучении материала, даже ультракороткими импульсами, вокруг места облучения образуется так называемая зона термического влияния, в которой материал за счёт теплопроводности нагревается и плавится.

Объём испаряемого материала логарифмически зависит от плотности мощности (энергии) лазерного излучения, для импульсов большей длительности эта зависимость более крутая. Длительностью импульса определяются также механические напряжения в обрабатываемом материале вблизи зоны воздействия и значение давления отдачи паров, которое обратно пропорционально $\tau^{0,5}$. Глубина образующегося

при лазерной обработке отверстия пропорциональна τ. Всё это означает, что для повышения качества обрабатываемого отверстия следует использовать лазер с очень короткой длительностью импульса.

Таким образом, при лазерной обработке отверстий рекомендуется использовать лазеры с возможно более короткой длительностью импульса, а при использовании непрерывного излучения уменьшать время воздействия.

Помимо правильного задания рассмотренных выше параметров лазерного излучения при выборе лазера необходимо учитывать его эксплуатационные характеристики и стоимость. Таким образом, выбор лазера для обработки отверстий является сложной задачей, для решения которой приходится принимать компромиссные решения, когда требуется получить высокое качество обработки при высокой производительности и низкой стоимости лазера.

Таким образом, разработка технологических операций лазерной обработки основывается на изучении теплофизических процессов взаимодействия материала с пучком лазерного излучения: поглощения излучения, нагревания, плавления, испарения материала, ионизации паров и образования плазмы. Результаты теплофизического взаимодействия лазерного пучка с материалом, в том числе качество и производительность обработки, зависят от взаимосвязанных свойств технологической системы, в том числе теплофизических параметров материала, комплекса технологического оборудования для лазерной обработки, способа и технологического режима обработки.

Длина волны лазера должна лежать в спектральной области, где обрабатываемый материал имеет больший коэффициент поглощения (например, в видимой области спектра для металлов). Вместе с тем с уменьшением длины волны лазера и угла расходимости лазерного пучка уменьшается диаметр лазерного пучка в плоскости фокусировки на поверхности обрабатываемого материала и, следовательно, уменьшается мощность лазерного излучения необходимая для обработки материала. На практике возможно достижение размера зоны воздействия в единицы микрометров для излучения видимого диапазона спектра и доли микрометров для ультрафиолетового излучения.

Чем меньше длительность импульса τ лазерного излучения, тем меньше его тепловое и деформационное влияние на обрабатываемый материал вне зоны облучения. Если импульс излучения короткий, плотность энергии высокая, то малый объём материала может расплавиться и испариться до того, как тепло из зоны облучения успеет распространиться в окружающий материал. Длительностью импульса определяются также давление отдачи паров, обратно пропорциональное $\tau^{0,5}$. Следовательно, для повышения качества обработки рекомендуется использовать лазер с короткой длительностью импульса, а при использовании непрерывного излучения уменьшать время воздействия.

Лазерная обработка осуществляется автоматизированным комплексом приборов и систем, выполняющих взаимосвязанные функции. Наиболее часто для лазерной обработки материалов используются лазеры, имеющие наносекундную длительность импульса. Более дорогие пикосекундные и фемтосекундные лазеры применяются для выполнения прецизионной обработки. Эксимерные лазеры обеспечивают высокую плотность мощности излучения в ультрафиолетовой области спектра. Лазеры на парах меди, благодаря короткой длине волны и высокому качеству пучка излучения, обеспечивают высокое пространственное разрешение обработки материалов.

Пористая структура поверхности материала формируется технологическими операциями лазерной обработки отверстий, лазерного микроструктурирования и рифления. Наилучшая форма поверхности и краёв отверстия достигается способом многоимпульсной обработки. Глубина отверстия увеличивается постепенно вследствие испарения материала слой за слоем с каждым импульсом. Конечная глубина отверстия определяется полной энергией серии импульсов, а диаметр зависит от средних параметров отдельного импульса. Обработка отверстия необходимой формы и размеров осуществляется перемещением лазерного пучка по заданному контуру или спирали.

Предлагаемая технология может быть использована при формировании микропористости поверхности деталей эндопротезов для улучшения их интеграции с костной тканью, деталей узлов трения для улучшения их антифрикционных свойств.

Список литературы

1. Базыкина К.С., Коровина М.А., Фандеев В.П. Перспективные конструкции протезов межпозвонковых дисков // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: материалы международной научно-практической конференции. – Пенза: Пенз. гос. технолог. универ., 2013. – С. 441–444.

2. Вейко В.П. Опорный конспект лекций по курсу «Физико-технические основы лазерных технологий». Раздел «Лазерная микрообработка». – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 111 с.

3. Капезин С.В., Фандеев В.П., Вертаев А.В. Технология формирования пористых поверхностей хирургических имплантатов // Исследования и инновационные разработки в сфере медицины и фармакологии: материалы Региональной конференции. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – С. 80–82.

4. Парфенов В.А. Лазерная микрообработка материалов: учебное пособие. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 59 с.

5. Раченкова Н.А., Фандеев В.П. Перспективные технологии формирования пористой поверхности // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: материалы международной научно-практической конференции. – Пенза: Пенз. гос. технол. универ., 2013. – С. 436–438.

6. Самохина К.С., Фандеев В.П. Конструирование протезов межпозвонковых дисков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16338.

References

1. Bazykina K.S., Korovina M.A., Fandeev V.P. Perspektivnye konstrukcii protezov mezhpozvonkovyh diskov // Molodezh' i nauka: modernizacija i innovacionnoe razvitie strany: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Penza: Penz. gos. tehnolog. univer., 2013. pp. 441–444.

2. Vejko V.P. Opornyj konspekt lekcij po kursu «Fiziko-tehnicheskie osnovy lazernyh tehnologij». Razdel «Lazernaja mikroobrabotka». SPb.: SPbGU ITMO, 2007. 111 p.

3. Kapezin S.V., Fandeev V.P., Vertaev A.V. Tehnologija formirovanija poristyh poverhnostej hirurgicheskih implantatov // Issledovanija i innovacionnye razrabotki v sfere mediciny i farmakologii: materialy Regional'noj konferencii. Penza: Izd-vo PGU, 2011. pp. 80–82.

4. Parfenov V.A. Lazernaja mikroobrabotka materialov: uchebnoe posobie. SPb.: SPbGJeTU «LJeTI», 2011. 59 p.

5. Rachenkova N.A., Fandeev V.P. Perspektivnye tehnologii formirovanija poristoj poverhnosti // Molodezh' i nauka: modernizacija i innovacionnoe razvitie strany: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Penza: Penz. gos. tehnol. univer., 2013. pp. 436–438.

6. Samohina K.S., Fandeev V.P. Konstruirovanie protezov mezhpozvonkovyh diskov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16338.

Рецензенты:

Таранцева К.Р., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, заведующая кафедрой «Биотехнология и техносферная безопасность», Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза;

Ломтев Е.А., д.т.н., профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология», Пензенский государственный университет, г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 502.17:628.4:656(470.40)

РАЗРАБОТКА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ОТХОДОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Щепетова В.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, e-mail: shchepetovav@mail.ru

В настоящее время все более актуальным становится вопрос об экологичности процесса хранения и утилизации отходов производства и потребления. В Российской Федерации, несмотря на ведение активной политики в области разработки нормативных документов, касающихся обращения с отходами производства и потребления, все-таки основным способом удаления (переработки) отходов являются полигоны. Это происходит в связи с тем, что слабо развита перерабатывающая промышленность, недостаточно проводится работа по подготовке и воспитанию населения по раздельному сбору отходов, плохо организована система сбора вторичных ресурсов, не повсеместно налажена система вывоза образующихся отходов на производстве, слабый контроль за их образованием, недостаточно полно разработаны мероприятия, позволяющие минимизировать негативное воздействие отходов на окружающую среду при их хранении, и т.д. Все это приводит к ухудшению экологической ситуации в стране, а также негативно влияет на здоровье человека. Целью исследования являлась попытка определить возможные источники образования отходов на автотранспортном предприятии, проследить возможные пути утилизации отходов, разработать мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду в ходе процесса обращения с отходами на предприятии. На основании полученных данных были предложены природоохранные мероприятия, которые способствовали бы снижению загрязнения окружающей среды при функционировании предприятия.

Ключевые слова: окружающая среда, автотранспортное предприятие, отходы производства и потребления, мероприятия по снижению негативного воздействия

DEVELOPMENT PRIRODOOHRANNYH ACTION FOR THE REASON REDUCTIONS OF THE INFLUENCE ON SURROUNDING AMBIENCE DEPARTURE AVTOTRANSPORTNYH ENTERPRISE PENZENSKOY AREA

Schepetova V.A.

FGBOU VPO «Penza State University of the architecture and construction», Penza, e-mail: shchepetovav@mail.ru

At present all more actual becomes the question about ecological capacities of the process of keeping and salvaging departure production and consumptions. In Russian Federation, in spite of conduct active politicians in the field of development normative document concerning address with departure production and consumptions, even so main way of the removing (the conversions) departure are a firing ranges. This occurs in connection with that that, is developed processing industry, it is not enough is conducted work on preparation and unbringing the population on separate collection departure, is bad organized system of the collection secondary resource, not around the world it is made system of the export departure on production, weak checking for their formation, it is not enough packed is designed actions, allowing minimize the negative influence a departure on surrounding ambience under their keeping and etc.. All this brings about deterioration of the ecological situation in country, as well as negative influences upon health of the person. The Purpose of the study was shown attempt to define the possible sources of the formation departure on of the motor transport enterprise, track the possible ways to salvaging departure, develop the actions on reduction of the negative influence on surrounding ambience in the course of process of the address with departure on enterprise. As a matter of record, the protect nature action were offered, which promoted reduction of the contamination surrounding ambiences when operating the enterprise.

Keywords: the surrounding ambience, enterprise of the motor transport, waste production and consumptions, actions on reduction of the negative influence

В настоящее время все более актуальным становится вопрос об экологичности процесса хранения и утилизации отходов производства и потребления [1]. В Российской Федерации, несмотря на ведение активной политики в области разработки нормативных документов, касающихся обращения с отходами производства и потребления, все-таки основным способом удаления (переработки) отходов являются полигоны. Это происходит в связи с тем, что в нашей стране слабо развита перерабатывающая промышленность, недостаточно проводится работа по подготовке и воспитанию населения по раздельному сбору отходов, плохо организована система сбора вторичных ресурсов, не повсеместно налажена система вывоза образующихся отходов на производстве, слабый контроль за их образованием, недостаточно полно разработаны мероприятия, позволяющие минимизировать негативное воздействие отходов на окружающую среду при их хранении, и т.д. Все это приводит к ухудшению

экологической ситуации в стране, а также негативно влияет на здоровье человека [2].

Целью исследования является попытка определить возможные источники образования отходов на автотранспортном предприятии, проследить возможные пути утилизации отходов, разработать мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду в ходе процесса обращения с отходами на предприятии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– выявление наиболее существенных источников образования отходов;

– анализ возможных путей утилизации отходов производства и потребления.

Материалы и методы исследования

Материалы и методы исследования определялись методологическими основами, целями, сущностью поставленных практических проблем. В связи с этим использовались следующие методы:

– теоретического уровня: теоретический анализ и изучение методической литературы, законодательных актов в области охраны окружающей среды, нормативных документов;

– эмпирического уровня: наблюдение;

– практического уровня: расчеты количества образовавшихся отходов на предприятии.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя современные литературные источники, можно прийти к выводу, что одни только автотранспортные предприятия привносят в окружающую среду более 200 наименований вредных веществ и соединений, в том числе и канцерогенных, содержат отработанные газы двигателей внутреннего сгорания, нефтепродукты, продукты износа шин и тормозных накладок, сыпучие и пылящие грузы и т.д. [3].

Автотранспортное предприятие (АТП) ООО «Меркурий» работает на рынке пассажирских перевозок с 2004 года. За 9 лет работы перевезено свыше 200 млн пассажиров. Основное направление деятельности предприятия – перевозки пассажиров в городе Пензе и Пензенской области.

Автотранспортное предприятие состоит из администрации и основных служб:

– эксплуатационной – организует и осуществляет перевозки грузов и пассажиров в соответствии с установленными планами и заданиями;

– технической – обеспечивает техническую готовность автомобилей к работе на линии;

– обслуживающей – обеспечивает производство энергоресурсами, информационным обслуживанием, уборку помещений и территории, контролирует качество технического обслуживания и ремонта.

Краткая характеристика производственных процессов, осуществляемых на предприятии:

– эксплуатация склада ГСМ;

– эксплуатация мойки автотранспорта с оборотным водоснабжением и очистными сооружениями;

– проведение на производственных площадках предприятия технического осмотра (ТО), ТО-1 и ТО-2;

– вспомогательные участки.

Таким образом, предприятие специализируется на обеспечении пассажирских перевозок и проведении технического обслуживания (ТО), текущего и капитального ремонта автобусов малого, среднего и большого классов.

В результате технической деятельности на автотранспортном предприятии образуется достаточное количество разнообразных видов отходов, таких как отработанные покрышки и аккумуляторы, промасленная ветошь, отработанные масла и масляные фильтры, осадок от промывочной жидкости, шлам от очистных сооружений автомойки и другие. Кроме отходов от основного производства на автотранспортном предприятии образуются отходы от вспомогательного производства, такие как: индивидуальные масла, отходы от электродов, твердые бытовые отходы (ТБО), отходы абразивных кругов, отходы от лакокрасочных материалов, смет с территории предприятия, шлам от очистных сооружений ливневой канализации и многое другое.

Анализ деятельности предприятия, а также расчеты показали, что образуются следующие виды отходов за расчетный период:

– обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел 15% и более). ФККО 5490270101033 – 3 класс опасности, токсичные, пожароопасные. Отход образуется при ежедневном техническом обслуживании дорожно-строительной техники. Объемы образования отхода принимаются по факту. Утилизируется путем временного складирования на территории автотранспортного комплекса с последующим вывозом на производственную базу с подрядной организацией; объем образования – 0,0695 т/год;

– масла моторные отработанные. ФККО 5410020102033 – 3 класс опасности. Отходы образуются в результате использования различных видов горючесмазочных материалов. Отходы транспортируются на площадку ДЭП «Петровское» для возможного вторичного использования при укреплении обочин, объем образования – 12,202 т/год;

– масла трансмиссионные отработанные. ФККО 5410020602033 – 3 класс опасности. Отходы образуются в результате использования различных видов горючесмазочных материалов. Вывозится на полигон

твердых бытовых отходов, п. Петровск. Объем образования – 1,742 т/год;

– фильтры, пропитанные нефтепродуктами. ФККО 5490000000000 – 4 класс опасности. Отход образуется при эксплуатации автотранспорта. Вывозится для устройства насыпи на расстояние 32 км, объем образования – 0,44 т/год;

– покрышки отработанные. ФККО 5750020213004 – 4 класс опасности. Отход образуется при эксплуатации автотранспорта. Отход вывозится на базу ДЭП для последующего использования, частично (из-за потери потребительских качеств) для последующей утилизации на металлобазе ЗАО «Вторчермета». Объем образования – 0,374 т/год;

– аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с неслитым электролитом ФККО 92110101113012 – 2 класс опасности. Отход образуется при эксплуатации автотранспорта. Утилизация отхода производится на усмотрение Заказчика, один из вариантов – реализация заинтересованным организациям. Объем образования – 0,284 т/год;

– ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак ФККО 3533010013011 – 1 класс опасности. Отход в полном объеме (23,5 м^3) образования вывозится на полигон твердых бытовых отходов, п. Петровск. Объем образования – 0,0107 т/год;

– отходы лакокрасочных материалов (ЛКМ) сухие. ФККО 5550000000000 – 3 класс опасности. Отход образуется при снятии растительного грунта на участках уширения и организации строительных площадок (9889 м^3), разборке песчаного слоя (62,6 м^3) используется в полном объеме при рекультивации и при отсыпке рабочего слоя. Объем образования – 0,8 т/год;

– отработанная тара от краски металлическая. ФККО 3510000000000 – 3 класс опасности. Отход образуется в результате реализации бытовых потребностей рабочего персонала (объем образования данного отхода принимается по факту, исходя из производственной мощности подрядной организации, осуществляющей ремонтные работы). Объем образования – 0,2 т/год;

– шламы минеральных масел. ФККО 5470000000000 – 3 класс опасности. В состав входят осадки, образующиеся в результате мойки деталей и автомойки. Отходы образуются в результате мойки деталей. Объем образования – 47,902 т/год;

– песок, загрязненный маслами (содержание масел менее 15%). ФККО 3140230301034 – 3 класс опасности. Образуется в результате ремонтных мероприятий. Объем образования – 0,24 т/год;

– эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металлов отработанные, содержание масла и нефтепродукты в количестве менее 15%. ФККО 5440020106034 – 4 класс опасности. Объем образования – 0,1 т/год;

– мусор от бытовых помещений организаций не сортированный (исключая крупногабаритный). ФККО 9120040001004 – 4 класс опасности. Объем образования – 12 т/год;

– отходы (мусор) от уборки площадей склада и уборки территорий. ФККО 9900000000000 – 4 класс опасности. Объем образования – 214,75 т/год;

– отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства и отходы упаковочного картона незагрязненные. ФККО 1971030001005, 1971020201005 – 5 класс опасности. Объем образования – 0,1 т/год;

– остатки и огарки стальных сварочных электродов. Образуются в результате ремонтных работ. ФККО 35112160101995 – 5 класс опасности. Объем образования – 0,5 т/год;

– лом черных металлов несортированный. Образуется в результате ФККО 3513010001995 – 5 класс опасности. Объем образования – 40,436 т/год;

Таким образом, за расчетный период возможно образование отходов по классам опасности в следующем количестве:

– I класс – 0,0107 т/год;
– II класс – 0,284 т/год;
– III класс – 117,282 т/год;
– IV класс – 14,412 т/год;
– V класс – 254,156 т/год;
ИТОГО: 386,1447 т/год;

Объемы образования данных отходов принимались на основании сведений ПОС и ППР. Степень (класс) опасности отходов определялся в соответствии с действующими нормативными документами расчетным и экспериментальным путем. Количество образующихся отходов было рассчитано на основании количества эксплуатируемого транспорта, площади занимаемой территории АТП, а также количества обслуживающего персонала.

На основании расчетов можно сделать вывод, что значительное количество образуемых отходов характеризуется средним классом опасности. Процесс временного хранения и утилизации таких отходов требует выполнения определенных правил.

Проанализировав существующее положение на автотранспортном предприятии, можно выявить некоторые недостатки по организации сбора, временного хранения и обращения с отходами в целом. В частности, открытые и производственные площадки и твердые покрытия на крытых стоянках и складе ГСМ имеют нарушенную поверхность, что может привести к загрязнению окружающей среды поверхностными стоками. Кроме того, предельное количество накопления отходов – от 1 до 57 кг – не позволяет организовать рациональную схему

их сбора и повысить качество проектных решений обеспечения безопасности по обращению с отходами на территории предприятия, поэтому необходимо предусмотреть устранение отмеченных недостатков.

Проанализировав литературные источники [4, 5, 6], можно предложить отведение специальных мест для временного хранения отходов. Для ТБО и ветоши предполагается раздельное хранение в закрытых металлических контейнерах, исключающих их случайное возгорание.

С целью защиты природных ресурсов и снижения выноса загрязняющих веществ с территории должны предусматриваться следующие мероприятия:

- для снижения риска загрязнения нефтепродуктами материалы собираются в плотно закрывающийся контейнер, установленный в специально отведенном месте;
- своевременный вывоз мусора; назначение ответственного лица за организацию безопасного обращения с отходами на период производства работ.

Мероприятия по снижению степени опасности отходов в области обращения с отходами:

1) для размещения отходов на территориях предприятия должны быть организованы места временного накопления отходов с установкой специальных контейнеров, коробок;

2) отходы 1 класса (ртутные лампы, люминесцентные, ртутьсодержащие трубки отработанные и брак) должны храниться в заводских коробках на стеллаже в отдельном закрытом помещении операторской без права доступа посторонних лиц;

3) отходы ТБО и другие виды отходов IV и V класса опасности должны складироваться во временное хранение в металлический контейнер на асфальтированной площадке. По мере накопления отходы вывозятся на полигон ТБО г. Пенза специальным автотранспортом.

Кроме предлагаемых мероприятий по снижению воздействия на окружающую среду следует производить ежегодный контроль за отходами:

- при сборе, хранении, транспортировании, использовании, обезвреживании и захоронении должны соблюдаться действующие экологические, санитарно-эпидемиологические, технические нормы и правила обращения с отходами;
- за сбор, учет, размещение, обезвреживание, использование, транспортирование, захоронение отходов должно нести ответственность лицо, назначенное приказом по предприятию;
- учет образования, хранения, размещения, обезвреживания и вывоза отходов с предприятия должен производиться в журнале, заполняемом ответственным лицом.

Заключение

Таким образом, принятые технические решения могут обеспечить удовлетворительное состояние окружающей среды в период эксплуатации АТП. В результате расчета количества образовавшихся отходов производства и потребления, установления класса опасности заключение договоров и строгое соблюдение режима вывоза отходов с территории автотранспортного предприятия, а также разработка мероприятий позволят снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

1. Об охране окружающей среды: Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ 2005 г.

2. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон Российской Федерации от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 25.11.2013).

3. Морковкина А.М., Морковкин Н.А., Разживина Г.П., Щепетова В.А. Экологические аспекты рационального природопользования при капитальном ремонте автомобильных дорог в Пензенской области. Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9–2. – С. 393–397.

4. СанПиН 2.1.7.1322–03. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления.

5. Чертес К.Л., Ендураева Н.Н., Тупицина О.В. Единый полигон для размещения отходов // Экология и промышленность России. – 2002. – № 9. – С. 4–9.

6. Щепетова В.А. Анализ источников загрязнения окружающей среды при производстве неочищенных растительных масел на примере ЗАО «Родник» г. Сердобска Пензенской области. Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 155.

References

1. Ob ohrane okruzhajushhej sredy: Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 10 janvarja 2002 g. no. 7-FZ 2005 g.

2. Ob othodah proizvodstva i potreblenija: Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 24.06.1998 no. 89-FZ (red. ot 25.11.2013).

3. Morkovkina A.M., Morkovkin N.A., Razzhivina G.P., Shhepetova V.A. Jekologicheskie aspekty racionalnogo prirodopol'zovanija pri kapital'nom remonte avtomobil'nyh dorog v Penzenskoj oblasti. Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 9–2. pp. 393–397.

4. SanPiN 2.1.7.1322–03. Gigienicheskie trebovanija k razmeshheniju i obezvrezhivaniju othodov proizvodstva i potreblenija.

5. Chertes K.L., Enduraeva N.N., Tupicina O.V. Edinyj poligon dlja razmeshhenii othodov // Jekologija i promyshlennost' Rossii. 2002. no. 9. pp. 4–9.

6. Shhepetova V.A. Analiz istochnikov zagrjaznenija okruzhajushhej sredy pri proizvodstve neochishhennyh rastitel'nyh masel na primere ZAO «Rodnik» g. Serdobska Penzenskoj oblasti. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 3. pp. 155.

Рецензенты:

Ветошкин А.Г., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза;

Логанина В.И., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пензенский университет архитектуры и строительства», г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 03.02.2015.

УДК 332.146.2

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ: РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА

[1]Головихин С.А., [2]Валетов А.И.

[1]Челябинский филиал ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Челябинск, e-mail: gsa@rane74.ru;
[2]Департамент внешнеэкономических и международных связей Правительства города Москвы, Москва, e-mail: anatoly.valetov@gmail.com

В исследовании проводится ранжирование регионов России по уровню конкурентоспособности, которое строится на основе предлагаемой авторской методики, опирающейся на положения концепции четырех стадий развития наций. Методика последовательно агрегирует частные показатели конкурентоспособности, взвешенные на коэффициенты их значимости, согласованные с глобальным индексом конкурентоспособности, в субиндексы факторов. Затем полученные субиндексы с учетом их удельных весов, меняющихся в зависимости от стадии развития региона, агрегируются в региональный индекс конкурентоспособности. В качестве частных показателей конкурентоспособности принимаются официальные статистические показатели, прямо или опосредованно отражающие конкурентные характеристики регионов России. Система предлагаемых показателей гармонизирована с системой субиндексов конкурентоспособности стран и регионов Всемирного экономического форума, применяемой для построения глобального индекса конкурентоспособности. Составлен рейтинг конкурентоспособности по 80 регионам России. Рейтинг включает 3 субиндекса: «Общие требования», «Усилители эффективности», «Инновации и развитость». На основе данных рейтинга регионы России разбиты на следующие группы: с высоким и средним уровнем конкурентоспособности, с уровнем конкурентоспособности ниже среднего, неконкурентоспособные регионы.

Ключевые слова: конкурентоспособность, регион, региональная конкурентоспособность, рейтинг

COMPETITIVENESS OF THE RUSSIAN REGIONS: RATING

[1]Golovikhin S.A., [2]Valetov A.I.

[1]The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Chelyabinsk Branch, Chelyabinsk, e-mail: gsa@rane74.ru;
[2]Department of Foreign Economic and International Relations of the Government of Moscow, Moscow, e-mail: anatoly.valetov@gmail.com

In a study conducted ranking of Russian regions in terms of competitiveness, which is based on the author's proposed methodology rooted in the concept of the four stages of the development of nations. Technique consistently aggregates particular competitiveness indicators, weighted by the coefficients of importance, concerted with the Global Competitiveness Index, in the sub-indices of factors. Then the obtained sub-indices in accordance with their specific weights, varying depending on the stage of development of the region, are aggregated to the regional competitiveness index. As a particular competitiveness indicators taken official statistical key figures which directly or indirectly reflect the competitive characteristics of the regions of Russia. The system of proposed indicators harmonized with the system of sub-indices of competitiveness of countries and regions developed by the World Economic Forum and used to build the Global Competitiveness Index. A rating of competitiveness of 80 regions of Russia built. Rating includes three subindexes: «Basic requirements», «Efficiency enhancers», «Innovation and sophistication». On the basis of ranking Russian regions are divided into the following groups: regions with high and medium level of competitiveness, regions with a level of competitiveness lower than average, non-competitive regions.

Keywords: competitiveness, region, regional competitiveness, rating

В современных условиях актуальность рейтинговых оценок конкурентоспособности российских регионов диктуется следующим. На основе таких рейтингов органы власти и управления получают информацию для определения приоритетов в разработке региональной экономической политики [5, 6], нацеленной на обеспечение национальной конкурентоспособности, а субъекты хозяйствования – ориентиры в выборе направлений для инвестирования в конкретных регионах [4, 8]. Статья написана при грантовой поддержке Правительства РФ по теме «Подходы к анализу экономической динамики в РФ».

Цель исследования заключается в получении рейтинговых оценок конкурентоспособности регионов России по новой авторской методике регионального индекса конкурентоспособности, что позволяет раскрыть новые объекты управления региональной конкурентоспособностью, формирующие конкурентную позицию региона.

Материал и методы исследования

Рассчитанный авторами рейтинг конкурентоспособности российских регионов построен по предложенной С.А. Головихиным новой методике регионального индекса конкурентоспособности [1, 2], которая основывается на положениях концепции

четырех стадий развития наций М. Портера [7]. Региональный индекс конкурентоспособности предлагается рассчитывать путем последовательной агрегации частных показателей конкурентоспособности, взвешенных на коэффициенты их значимости, согласованные с глобальным индексом конкурентоспособности, в субиндексы факторов. Затем полученные субиндексы с учетом их удельных весов, меняющихся в зависимости от стадии развития региона, агрегируются в региональный индекс конкурентоспособности. В качестве частных показателей конкурентоспособности принимаются официальные статистические показатели, прямо или опосредованно отражающие конкурентные характеристики субъектов РФ. В региональном индексе конкурентоспособности также учтены показатели машиностроения.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчета авторами рейтинга конкурентоспособности российских регионов в соответствии с обозначенными выше методическими положениями приведены в таблице.

Региональный индекс конкурентоспособности (РИК) за 2013 год

Регионы	Общий индекс		Субиндексы					
			Общие требования		Усилители эффективности		Инновации и развитость	
	Ранг	Индекс	Ранг	Индекс	Ранг	Индекс	Ранг	Индекс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Конкурентоспособные регионы								
Регионы с высоким уровнем конкурентоспособности (от 5 до 7 баллов)								
–								
Регионы со средним уровнем конкурентоспособности (от 4 до 5 баллов)								
г. Москва	1	4,785	1	5,284	1	4,863	1	4,321
Регионы с уровнем конкурентоспособности ниже среднего (от 3 до 4 баллов)								
г. Санкт-Петербург	2	3,955	2	4,857	2	3,793	2	3,624
Тюменская область	3	3,859	5	4,454	3	3,395	48	2,528
Сахалинская область	4	3,677	13–14	4,159	11	3,227	12	3,009
Свердловская область	5	3,641	3–4	4,473	5	3,375	11	3,057
Республика Татарстан	6	3,543	7	4,422	8	3,346	3	3,286
Московская область	7	3,523	3–4	4,473	7	3,348	5	3,179
Кемеровская область	8	3,509	35	3,964	14	3,184	63	2,319
Нижегородская область	9	3,499	18	4,114	10	3,299	8	3,082
Ставропольский край	10	3,476	60	3,776	4	3,389	28	2,711
Хабаровский край	11	3,469	9	4,382	9	3,313	49	2,494
Архангельская область	12	3,466	27	4,026	42–43	2,971	46–47	2,532
Республика Коми	13	3,423	17	4,137	60	2,784	65	2,284
Оренбургская область	14–15	3,407	41	3,928	44	2,970	57	2,401
Чувашская Республика	14–15	3,407	33	3,971	20	3,136	4	3,239
Республика Саха (Якутия)	16	3,406	58	3,809	27	3,078	41	2,574
Ярославская область	17	3,401	20	4,099	19	3,151	14	2,977
Приморский край	18	3,394	12	4,212	35	3,033	10	3,067
Краснодарский край	19	3,392	8	4,393	18	3,157	52	2,479
Самарская область	20	3,378	32	3,979	24	3,107	6	3,154
Воронежская область	21	3,361	30	3,995	28	3,072	7	3,131
Челябинская область	22	3,354	26	4,045	13	3,191	26	2,725
Республика Башкортостан	23	3,353	38-39	3,953	12	3,205	21	2,826
Калининградская область	24	3,334	15	4,150	17	3,164	43-44	2,535
Ростовская область	25	3,328	34	3,970	22	3,120	18	2,885
Калужская область	26	3,319	11	4,246	51	2,919	15	2,928
Иркутская область	27	3,306	25	4,055	30	3,068	23	2,775
Пермский край	28	3,297	40	3,948	25	3,083	19	2,856

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Курская область	29	3,289	10	4,274	48	2,931	29	2,707
Ульяновская область	30	3,288	45	3,913	39	3,001	9	3,068
Магаданская область	31	3,283	13–14	4,159	40	2,992	31	2,698
Новосибирская область	32	3,271	44	3,914	37	3,026	16	2,921
Ивановская область	33	3,261	54	3,836	55	2,874	17	2,888
Липецкая область	34	3,259	36	3,959	6	3,371	37	2,605
Томская область	35	3,256	53	3,879	16	3,165	13	2,991
Саратовская область	36	3,244	31	3,981	29	3,069	40	2,575
Рязанская область	37	3,237	47	3,907	34	3,041	27	2,718
Астраханская область	38	3,234	23	4,073	50	2,920	24	2,761
Камчатский край	39	3,232	16	4,146	32	3,047	62	2,322
Тульская область	40	3,227	28	4,015	38	3,007	39	2,596
Чукотский АО	41	3,209	62	3,767	66	2,752	76	2,074
Вологодская область	42	3,205	43	3,918	23	3,117	60	2,355
Республика Мордовия	43–44	3,188	29	3,999	45	2,963	45	2,534
Удмуртская Республика	43–44	3,188	72	3,612	15	3,169	38	2,601
Владимирская область	45	3,187	70	3,639	31	3,059	22	2,825
Омская область	46	3,185	52	3,881	36	3,029	46–47	2,532
Красноярский край	47	3,157	48	3,905	21	3,133	30	2,699
Мурманская область	48	3,156	21	4,092	54	2,888	55	2,422
Орловская область	49	3,149	59	3,782	46	2,953	33	2,687
Новгородская область	50	3,145	51	3,886	42–43	2,971	53	2,471
Республика Карелия	51	3,143	56	3,826	26	3,079	66	2,281
Республика Алтай	52	3,142	74	3,585	47	2,940	58	2,372
Смоленская область	53	3,127	61	3,768	49	2,930	34	2,657
Амурская область	54	3,119	19	4,112	56	2,860	67	2,279
Пензенская область	55	3,098	37	3,958	69	2,723	25	2,746
Республика Адыгея	56	3,091	64	3,728	65	2,761	73	2,197
Тверская область	57	3,078	57	3,821	59	2,785	32	2,694
Тамбовская область	58	3,075	55	3,828	71	2,714	20	2,848
Волгоградская область	59	3,073	38–39	3,953	62	2,781	51	2,486
Республика Бурятия	60	3,069	49	3,901	61	2,783	42	2,539
Республика Хакасия	61	3,065	24	4,069	53	2,897	77	1,981
Ленинградская область	62	3,047	6	4,429	41	2,984	72	2,231
Республика Марий Эл	63	3,036	65	3,723	57	2,842	50	2,488
Курганская область	64	3,027	66	3,718	63	2,779	36	2,611
Костромская область	65	3,025	69	3,657	52	2,916	61	2,348
Белгородская область	66	3,019	22	4,089	33	3,045	68	2,265
Республика Калмыкия	67	3,013	71	3,615	64	2,772	79	1,815
Псковская область	68	3,009	42	3,924	67	2,746	64	2,292
Неконкурентоспособные регионы (от 1 до 3 баллов)								
Кировская область	69	2,994	67	3,685	70	2,719	35	2,646
Алтайский край	70	2,962	68	3,662	58	2,825	69	2,255
Забайкальский край	71	2,931	63	3,731	68	2,725	71	2,247
Брянская область	72	2,925	73	3,593	72	2,680	43–44	2,535
Еврейская АО	73	2,924	46	3,911	75	2,643	75	2,146
Кабардино-Балкарская Респ.	74	2,918	77	3,352	74	2,665	54	2,449
Респ. Северная Осетия – Алания	75	2,897	50	3,887	76	2,598	74	2,158
Республика Дагестан	76	2,834	76	3,388	73	2,667	56	2,417
Республика Тыва	77	2,754	75	3,440	78	2,283	59	2,368

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Карачаево-Черкесская Респ.	78	2,746	78	3,255	77	2,439	70	2,249
Республика Ингушетия	79	2,450	79	2,866	79	2,266	80	1,709
Чеченская Республика	80	2,362	80	2,615	80	2,252	78	1,899

Примечание. Ненецкий АО учтен в составе Архангельской области, Ханты-Мансийский АО и Ямало-Ненецкий АО учтены в составе Тюменской области.

Республика Крым и г. Севастополь не входили в состав субъектов Российской Федерации на дату расчета рейтинга.

Как следует из таблицы, в 2013 году в России отсутствовали регионы с высоким уровнем конкурентоспособности. Средний уровень конкурентоспособности имел один регион – г. Москва. При этом следует отметить, что Россия в целом, по оценке ВЭФ, имела индекс конкурентоспособности 4,37 и 53-е место из 144 стран в рейтинге 2014–2015 года.

Город Москва занимал 1-е место по РИК – 4,785 и его субиндексам: «Общие требования» (5,284), «Усилители эффективности» (4,863), «Инновации и развитость» (4,321). Город Москва лидирует среди российских регионов, что обеспечили крупнейший размер рынка, эффективный инновационный потенциал, прозрачная институциональная среда. Факторами, снижающими конкурентоспособность региона, являются: средняя развитость малого бизнеса (46-е место), неконкурентоспособность региона по стоимости рабочей силы (рассчитана по среднемесячной номинальной начисленной заработной плате (2-е место)), наивысшая дифференциация доходов населения в РФ (1-е место).

В 2013 году 67 регионов России имели уровень конкурентоспособности ниже среднего. Рассмотрим первые 5 регионов в этой группе с наивысшими позициями.

Город Санкт-Петербург получил в рейтинге 2-е место (3,955), в том числе в субиндексе «Инновации и развитость» – 2-е место (3,624), «Усилители эффективности» – 2-е место (3,793), «Общие требования» – 2-е место (4,857). Г. Санкт-Петербург имеет один из крупнейших рынков (3-е место), эффективный инновационный потенциал (2-е место), высокоразвитую инфраструктуру (2-е место), прозрачную институциональную среду (2-е место). Конкурентоспособность снижают: неэффективность рынка труда (51-е место), средние темпы роста производительности труда (39-е место), неконкурентоспособность по стоимости рабочей силы (10-е место), высокая дифференциация доходов населения (4-е место).

Тюменская область занимает 3-е место по РИК в России (3,859). Обладает одним из крупнейших рынков в России (4-е место), формируемым за счет экспорта в СНГ и дальнее зарубежье (2-е место). Емкость рынка обеспечивают мезоэкономическая стабильность (1-е место), технологическая готовность добывающей промышленности (4-е место), развитость финансового рынка (3-е место). Конкурентоспособность снижают: недостаточное развитие инфраструктуры (40 место); неэффективность высшего образования (61-е место); низкий уровень этического поведения компаний (25-е место); низкая доля обрабатывающей промышленности и машиностроения в промышленности (74-е место); высокая стоимость рабочей силы (4-е место) и высокая дифференциация доходов населения в РФ (2-е место).

Сахалинская область получила 4-е место по РИК (3,677) со средней емкостью рынка (34-е место), формируемой внешним сегментом, в основном экспортом энергоносителей в дальнее зарубежье (5-е место). Емкость рынка определяет высокая эффективность товарного рынка и развитая конкуренция (4-е место); высокая технологическая готовность (2-е место); развитый финансовый рынок (23-е место). Конкурентоспособность снижают: дорогая рабочая сила (5-е место) и значительная дифференциация доходов населения (19-е место); неразвитая инфраструктура (66-е место); средняя прозрачность общественно-политических институтов (44-е место); низкая доля обрабатывающей промышленности в объеме промышленной продукции (79-е место); неэффективность высшего образования (68-е место).

Свердловская область в рейтинге по РИК получила 5-е место (3,641). Регион обладает одним из самых крупных рынков (5-е место), эффективным инновационным потенциалом (11-е место), прозрачной институциональной средой (16-е место), развитым бизнесом (17-е место). Опережающие позиции инновационных показателей и показателей развитости бизнеса поддерживаются следующими факторами: доступное и качественное высшее образование и профессиональная подготовка (23-е место); технологическая готовность (11-е место); общественно-политические институты (16-е место); мезоэкономическая

стабильность (8-е место); развитая инфраструктура (12-е место); высокая эффективность использования финансовых ресурсов (12-е место); высокий уровень конкуренции на товарных рынках (7-е место). Факторы, снижающие уровень конкурентоспособности: низкая эффективность рынка труда (54–55-е место), средний уровень безработицы (39-е место) при высокой стоимости рабочей силы (20-е место).

Республика Татарстан получила 6-е место по РИК (3,543) и обладает 6-м по размеру рынком, емкость которого сформирована внутренним и внешним сегментом (4-е место). Емкость рынка поддерживается: эффективным инновационным потенциалом (3-е место), инфраструктурой (23-е место), общественно-политическими институтами (11-е место), эффективным использованием финансовых ресурсов (13-е место), низкой деформацией конкурентной среды (7-е место), технологической готовностью (16-е место), качеством высшего образования (25-е место). Факторы, снижающие конкурентоспособность: недостаточная эффективность рынка труда (49-е место); мезоэкономическая ситуация, ухудшаемая высоким отношением госдолга к доходам бюджета (6-е место), замедленными темпами роста физического объема инвестиций в основной капитал (32-е место).

В 2013 году 12 регионов России с позициями в рейтинге с 69-й по 80-ю являлись неконкурентоспособными. В отношении данных субъектов, на наш взгляд, целесообразна разработка специальных федеральных и региональных программ по ликвидации диспропорций регионального развития и повышению конкурентоспособности этих регионов.

Выводы, полученные по результатам расчетов рейтинга конкурентоспособности российских регионов за 2013 год, в целом не противоречат тенденциям, вскрытым в ходе расчета аналогичного рейтинга за 2012 год [2, 3], что свидетельствует о положительных результатах адаптации предложенной методики РИК.

Заключение

Разработанный рейтинг конкурентоспособности регионов создает новую информационную основу для эффективной разработки федеральных и региональных программ регионального развития и повышения конкурентоспособности. Он обеспечивает региональные органы власти и управления детализированными данными об уровне конкурентоспособности в разрезе субиндексов, групп показателей и их отдельных значений.

Список литературы

1. Головихин С.А. Конкурентоспособность экономики регионов России: монография. – Челябинск: Центр научного сотрудничества, 2012. – 356 с.

2. Головихин С.А. О новой концепции базовых свойств конкурентоспособности и региональном рейтинге конкурентоспособности // Социум и власть. – 2013. – № 2. – С. 74–80.

3. Головихин С.А. Рейтинг конкурентоспособности регионов России // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11–6. – С. 1207–1211; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002546 (дата обращения: 31.01.2015).

4. Колмаков В.В. Методические аспекты оценки государственно-частного партнерства // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 135–139.

5. Неживенко Е.А. Конкурентоспособность региона: методологические проблемы исследования // Социум и власть. – 2012. – № 3(35). – С. 57–61.

6. Полякова А.Г. Государственное управление в контексте проблемы модернизации экономики региона // Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2011. – № 1. – С. 128–131.

7. Портер М. Международная конкуренция: пер. с англ. – М.: Международные отношения, 1993. – 896 с.

8. Печерица Е.В., Шарафанова Е.Е. Кластерный подход к изучению территориальных социально-экономических систем // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2013. – № 3(17). – С. 144–150.

References

1. Golovikhin S.A. Konkurentosposobnost economiki regionov Rossii: Monografiya (Competitiveness of the economy of regions of Russia: Monograph). Chelyabinsk, Center for Scientific Cooperation, 2012. 356 p.

2. Golovikhin S.A. O novoy kontseptsii bazovykh svoystv konkurentosposobnosti i regionalnom reytinge konkurentosposobnosti (The new concept of the basic properties of competitiveness and regional competitiveness ranking). Sotsium i vlast, 2013, no. 2, pp. 74–80.

3. Golovikhin S.A. Reyting konkurentosposobnosti regionov Rossii (Rating of competitiveness of Russian regions). Fundamentalnye issledovaniya, 2013, no. 11–6, pp. 1207–1211, available at: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002546.

4. Kolmakov V.V. Metodicheskie aspekty otsenki gosudarstvenno-chastnogo partnerstva (Methodical aspects of evaluation of public-private partnerships). Uspehi sovremennogo estestvoznania, 2014, no. 3, pp. 135–139.

5. Nezhivenko E.A. Konkurentosposobnost regiona: metodologicheskie problemy issledovaniya (Competitiveness of the region: methodological problems of research). Sotsium i vlast, 2012, no. 3(35), pp. 57–61.

6. Polyakova A.G. Gosudarstvennoe upravlenie v kontekste problemy modernizatsii economiki regiona (Public administration in the context of the modernization of the region›s economy). Gumanitarnye i sotsialno-ekonomicheskie nauki, 2011, no. 1, pp. 128–131.

7. Porter M. Mezhdunarodnaya konkurentsiya (International competition). Moscow, International relations, 1993. 896 p.

8. Pecheritsa E.V., Sharafanova E.E. Klasternyy podkhod k izucheniyu territorialnykh sotsialno-ekonomicheskikh system (The cluster approach to the study of regional socio-economic systems). Teoria i praktika servisa: ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii, 2013, no. 3(17), pp. 144–150.

Рецензенты:

Черненко А.Ф., д.э.н., профессор кафедры «Финансовый менеджмент», ФГБУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск;

Попова Е.А., д.э.н., профессор кафедры финансов и бухгалтерского учета, МОУ ВПО «Южно-Уральский профессиональный институт», г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 338.262.3

АДАПТАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Дебердиева Е.М., Зольникова С.Н.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: z622@mail.ru

На основе анализа состояния нефтеперерабатывающей промышленности, сложившихся условий рынка нефтепродуктов предложена корректировка целевых задач деятельности нефтеперерабатывающих предприятий. Показан растущий дисбаланс спроса качественных нефтепродуктов на внутреннем рынке и выпуска продукции низких переделов нефтеперерабатывающими заводами. Для удовлетворения потребностей рынка одной из основных задач управления нефтеперерабатывающими предприятиями становится разработка эффективных инструментов планирования, определяющих оптимальный ассортимент продукции и загрузку мощностей с учетом рыночного спроса. Предлагается ориентироваться на достижение максимального дохода за счет оптимального объема выпуска качественных нефтепродуктов, требуемых рынком и имеющих высокую добавленную стоимость. Эффективность предложений представляется в качественном изменении отраслевых показателей: повышением коэффициента технологической сложности, качества нефтепродуктов и их ценности для потребителя.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающие предприятия, планирование деятельности, коэффициент технологической сложности, ценность для потребителей, развитие нефтепереработки, целевые ориентиры

ADAPTING TARGETS REFINERIES TO THE CHANGING INTERNAL AND EXTERNAL ENVIRONMENT

Deberdieva E.M., Zolnikova S.N.

Tyumen State oil and gas University, Tyumen, e-mail: z622@mail.ru

Based on analysis of the refining industry, current market conditions author adjusted targets of activities refineries. The author reveals a growing imbalance between the demand for high quality oil products on the domestic market and production of low value-added products refineries. To meet the needs of the market one of the main objectives of management refineries is the development of effective tools for planning, determining the optimal product range and capacity utilization , taking into account market demand. It is proposed to focus on achieving maximum profit at the expense of optimal production volume of quality petroleum products required by the market and with high added value. The effectiveness of the proposals is seen as a qualitative change in sectoral indicators. Such as an increase in the coefficient of technological complexity, the quality of petroleum products and their value for the consumer.

Keywords: oil refineries, planning activities, the rate of technological complexity, the value for consumers, the development of oil refining, targets

В настоящее время активно обсуждаются вопросы трансформации нефтяного комплекса России. Особое внимание уделяется развитию нефтеперерабатывающей промышленности. Несмотря на благоприятную тенденцию в развитии нефтепереработки в последние годы, основные проблемы деятельности предприятий отрасли остаются неразрешенными. Современное состояние отрасли характеризуется низким уровнем технологической сложности предприятий, преобладанием в структуре экспорта полуфабрикатов, высоким износом оборудования и дисбалансом в наличии мощностей первичной переработки и выпуском продукции высоких переделов.

Согласно прогнозам спрос на внутреннем рынке качественных нефтепродуктов возрастет в ближайшие годы на 4–5%. Нефтеперерабатывающие заводы страны в условиях ограниченных инвестиционных вложений избыточно выпускают продукцию низких переделов, наращивая мощности по первичной переработке. Для удовлетворения потребностей рынка одной из основных задач управления нефтеперерабатывающих предприятий на сегодняшний день становится разработка эффективных инструментов планирования, определяющих оптимальный ассортимент продукции и загрузку мощностей с учетом рыночного спроса.

В настоящее время экономической основой рыночных отношений между хозяйствующими субъектами и объектами служит планирование деятельности. Посредством планирования обеспечивается необходимый баланс между производством и потреблением продукции, величиной рыночного спроса на товары и объемами предложения предприятием на макроэкономическом уровне [2]. На уровне предприятия планирование предназначено оптимизировать выпуск высококачественной продукции на основе эффективного

и рационального использования ресурсов [3]. Опыт работы отечественных и зарубежных компаний свидетельствует, что недооценка планирования в рыночных условиях или его некомпетентное осуществление приводят к большим, неоправданным потерям [6]. Факторы, оказывающие влияние на усиление роли внутрифирменного планирования в рыночных условиях: самостоятельность хозяйствующих субъектов; развитие и обострение конкуренции; обострение проблем сбыта продукции, изменение направлений сбыта и роли потребителя в процессе реализации продукции; усиление давления внешнего рынка и процессов глобализации экономики; увеличение степени неопределенности рыночной конъюнктуры [5].

На деятельность предприятий во многом оказывают влияние различные особенности производства, в частности на экономику предприятия нефтеперерабатывающей промышленности влияют следующие факторы:

1) разнообразие продуктов, получаемых из одного вида сырья;
2) высокая степень концентрации производства;
3) многовариантность процессов и большая взаимозаменяемость;
4) сложность технологических процессов;
5) высокая степень автоматизации производства;
6) непрерывность производства;
7) высокая капиталоемкость процессов, увеличивающаяся с повышением качества продукции и углублением переработки сырья;
8) большое потребление энергии;
9) значительная доля затрат на сырье в себестоимости продукции.

Повышение уровня жизни населения и его численности обусловливает все большую потребность в моторных топливах, в связи с этим развитие нефтепереработки как важнейшей отрасли экономики страны относится к стратегическим задачам экономического роста государства [1]. Продукция нефтеперерабатывающего сектора потребляется практически всеми отраслями промышленности, что подчеркивает его влияние на развитие национальной экономики.

В России по данным государственного реестра проектируемых, строящихся и введенных в эксплуатацию нефтеперерабатывающих заводов действуют 36 нефтеперерабатывающих предприятий, 27 проектируется, 1 находится на стадии строительства [9]. Основные виды продукции нефтеперерабатывающих заводов (далее НПЗ) – дизельное топливо, автомобильный бензин и мазут. Крупнейшие нефтеперерабатывающие заводы страны имеют мощность 22–20 млн т/г, глубина переработки нефти невысокая и варьируется от 53 до 88%, выход светлых нефтепродуктов составляет от 43,2 до 69,1%, средний индекс Нельсона составляет 5,3 [9]. Общий объем мощностей по первичной переработке нефти составляет около 290 млн т/г, что превышает потребности российского внутреннего рынка. По объему мощностей нефтепереработка России занимает 3 место в мире, но производственные мощности развиваются быстрее в таких странах, как Бразилия, Китай, Индия [1].

Замедленное развитие нефтеперерабатывающей промышленности связано со следующими проблемами: политико-правовыми (отсутствие эффективной нормативно-правовой базы, отсутствие законодательного контроля баланса экспорта и переработки сырой нефти, несовершенство законодательства (налогового, патентно-лицензионного, амортизационного, антимонопольного)); финансово-экономическими (недостаток свободных средств для финансирования инновационных проектов, высокие издержки производства вследствие избыточности первичной переработки, доминирование тактических интересов над перспективными, ориентация на краткосрочную окупаемость, слабая инвестиционная поддержка со стороны управляющей компании); организационно-управленческими (устаревшие, не гибкие организационные структуры управления, слабое внутриотраслевое и региональное взаимодействие); технико-технологическими (сырьевая направленность российской нефтепереработки, низкая глубина переработки нефти (низкая эффективность переработки), низкое качество производимых нефтепродуктов, не соответствующих мировым стандартам, инфраструктурные ограничения, слабое ресурсное обеспечение); научно- исследовательскими (недостаточное финансирование фундаментальных и прикладных исследований и опытно-конструкторских работ, низкий уровень оплаты труда в сфере НИОКР); научно-образовательными (недостаточный уровень образования руководителей всех уровней управления в области инновационного менеджмента, отсутствие целостной системы подготовки и переподготовки кадров и опережающего инновационного развития).

Таким образом, в основном проблемы развития нефтеперерабатывающей промышленности связаны с износом основных фондов, дефицитом мощностей по вторичной переработке нефти и со слабым использованием современных технологических процессов. Основные причины сложившихся проблем в нефтеперерабатывающей промышленности берут свое начало в инвестиционной политике вертикально-интегрированных компаний, во-вторых, зависят от сложившейся практики планирования на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Инвестиционная политика предприятий ориентирована на добычу углеводородов. Инвестиции в основной капитал добычи углеводородов в 2013 году составили 1678,8 млрд руб., что на 25,3% больше капитальных вложений в нефтепереработку. Необходимо отметить, что есть и положительная динамика: темпы роста инвестиций в нефтепереработку за последние годы в 2 раза больше. Высокие цены на нефть на мировом рынке и льготная система экспортных пошлин обеспечивает высокую прибыль от экспорта сырой нефти и темных нефтепродуктов, делая ресурсоемкую и энергоемкую нефтепереработку непривлекательной для инвесторов. Поэтому российские компании добывают в несколько раз больше, чем перерабатывают. Кроме того, в среднем по России за последние несколько лет загрузка НПЗ составляет только 65–70% по двум причинам: из-за недостатка сырья и в связи с невысоким качеством продукции, на которую нет спроса. Как следствие, нефтепереработка России отстает в развитии не только от НПЗ США, но и от таких стран, как Китай и Япония.

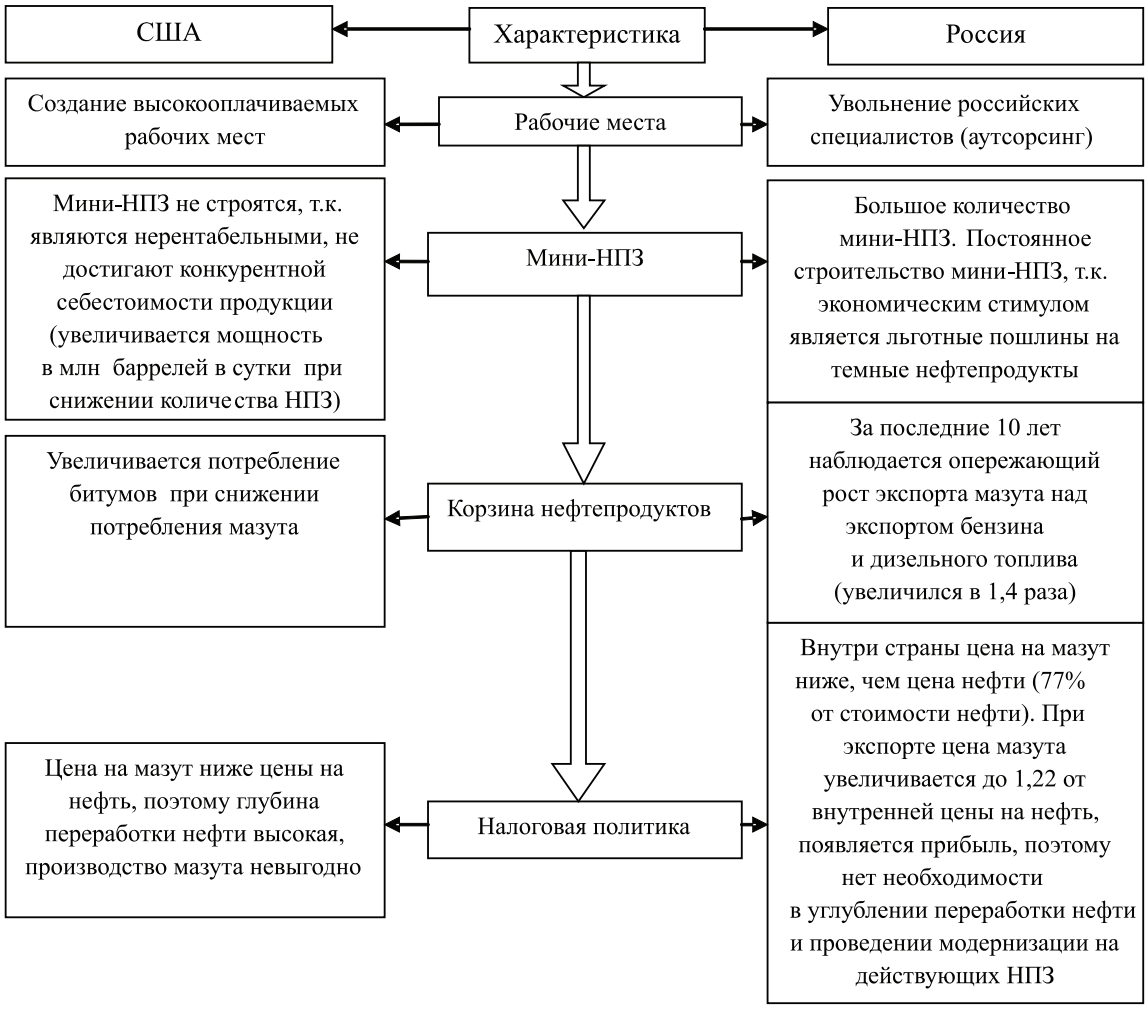
В настоящее время помимо внутренних проблем развития существует и внешняя конкурентная угроза для российских нефтеперерабатывающих предприятий – это нефтеперерабатывающая промышленность США. Одним из направлений государственной энергетической политики США является активное развитие собственной добычи сланцевой нефти и газа, способной обеспечить собственные потребности в углеводородном сырье и существенно улучшить конкурентоспособность нефтеперерабатывающих предприятий [1]. В ходе реализации данной политики в период с 2007 по 2013 годы наблюдается рост добычи сланцевой нефти.

По объемам производимых углеводородов Россия и США сопоставимы между собой и производят примерно одинаковые объемы. Однако динамика развития кардинально отличается. За последние 5 лет объем добычи газа в США вырос на 20%, а в России – снизился на 2%, также добыча сырой нефти в США и России выросла на 30 и 5% соответственно [6]. Таким образом, резкий рост добычи сланцевой нефти в США вызвал всплеск нефтепереработки. В настоящее время США – наиболее активная страна по разработке инновационных проектов в сфере downstream [1]. Принципиальные отличия развития нефтепереработки России и США представлены на рисунке.

Конкурентным преимуществом российских нефтеперерабатывающих предприятий является дешевое сырье из-за высоких экспортных пошлин на нефть и дешевая энергетика, а также невысокая стоимость рабочей силы, при условии сопоставимой численности НПЗ. Но на данный момент НПЗ США превосходят по размеру и по сложности больше чем в 2 раза. Нефтеперерабатывающие предприятия США уделяют больше внимания вторичным процессам переработки, а именно крекингу, в России же основной процесс вторичной переработки – риформинг [9]. Отличие в технологических процессах ведет к различию в продуктовой корзине нефтепродуктов: нефтеперерабатывающие предприятия США выпускают в основном конечные продукты потребления (автомобильные бензины – 42,9%, дизтопливо – 31,5%), а в России преимущество отдается темным нефтепродуктам (мазут – 28,8%), что сказывается на уровне развития НПЗ. Так в США производят на 30% больше бензинов, чем в России, в то время как объемы первичной переработки превосходят США в 9 раз.

В настоящее время США ведут активную работу по развитию переработки сланцевой нефти и добычи нефтеносных песков Канады, что является угрозой для российских НПЗ. Данные Минэнерго США свидетельствуют, что в июле 2013 года объем экспорта нефтепродуктов американскими компаниями достиг рекордных 3,8 млн баррелей в сутки [10]. В данных условиях перед российской нефтеперерабатывающей промышленностью стоит непростая задача – борьба за рынки сбыта нефтепродуктов, ранее являвшиеся для России традиционными [5]. Помимо больших объемов экспорта нефтепродуктов на традиционные рынки сбыта российских НПЗ, в 2014 году США планирует отменить запрет на экспорт нефти, таким образом, предложение этого вида сырья увеличится на 15–20%. При прочих равных условиях цены на такую нефть могут снизиться на 30%, или примерно на 30 долларов [8].

Перечисленные проблемы, на наш взгляд, связаны с планированием нефтеперерабатывающей промышленности. Результатом функционирования российских нефтеперерабатывающих предприятий многие годы остается увеличение объемов нефтепереработки, наращивание мощностей выпуска основных видов топлива. Сложившаяся ситуация в нефтепереработке обусловлена тем, что в энергетической стратегии России долгое время добыча углеводородов занимает центральное место, в то время как развитие нефтеперерабатывающей промышленности остается на втором плане. Нефтеперерабатывающие предприятия производят продукты низкого качества, не имеющие высокую добавленную стоимость, при таких условиях основной их целью является максимальная загрузка мощностей по переработке нефти. Это позволяет произвести наибольший объем продукции с минимальными затратами, что обеспечивает нефтеперерабатывающим предприятиям прибыль и рентабельность.



Принципиальные отличия развития нефтепереработки в России и США

Функция процесса переработки нефти представляет собой целевую функцию максимизации прибыли при максимальном объеме производства X продукции с минимальными затратами на производство C. Следуя цели максимальной загрузки мощностей, российские нефтеперерабатывающие предприятия избыточно производят нефтепродукты первичной переработки (прямогонный бензин, мазут, дизельное топливо), а также поставляют за рубеж нефтепродукты, предназначенные для дальнейшей переработки в странах-реципиентах, и приводят к зависимости внутреннего рынка от импорта качественных нефтепродуктов (бензин автомобильный, дизельное топливо, моторные масла). Кроме того, первичная переработка при действующей системе таможенных пошлин остается более выгодной, что способствует строительству новых простых нефтеперерабатывающих заводов, в то время как инвестирование в повышение технологической сложности переработки идет замедленно.

Длительное функционирование нефтеперерабатывающих предприятий на основе сформулированной цели деятельности, направленной на максимальную загрузку мощностей, обеспечивающей снижение затрат на производство способствовало отставанию российской нефтепереработки от других стран. Индекс технологической сложности Нельсона нефтеперерабатывающих предприятий в России составляет 5,3, что немного превышает среднемировой показатель (5), т.к. за последние годы не было построено ни одного крупного НПЗ, но резко возросло число мини-НПЗ. Это вызывает дефицит качественных высокооктановых бензинов и дизельного топлива с низким содержанием серы, требуемых рынком, и соответственно компании, вырабатывающие

нефтепродукты низкого качества, теряют прибыль, производя продукцию, не имеющую добавленной стоимости.

Вышеуказанные проблемы и угрозы способны привести к снижению цен на нефтяное сырье и уменьшению экспортного потенциала нефти и нефтепродуктов, поэтому Россия сможет играть значительную роль на мировых рынках высококачественных нефтепродуктов только при условии полной модернизации существующих предприятий и строительстве новых современных НПЗ. Выходом из сложившейся ситуации является ускорение модернизации нефтеперерабатывающих предприятий и наращивание темпов инновационного развития нефтеперерабатывающей промышленности с целью удовлетворения потребностей внутреннего рынка и экспорта высококачественных, имеющих добавочную стоимость нефтепродуктов, в связи с этим можно сформировать следующие направления развития нефтеперерабатывающих предприятий:

1) стабилизация объема первичной переработки нефти на текущем уровне;

2) повышение качества нефтепродуктов до требований рынка;

3) повышение коэффициента технологической сложности;

4) сокращение производства топочного мазута;

5) умеренный рост производства автобензинов;

6) значительный рост производства дизельного топлива [4].

Таким образом, сегодня для обеспечения успеха на рынке компания должна предлагать потребителю продукт, имеющий для него ценность, одной из основных стратегических целей предприятия является производство нефтепродуктов высокого качества, которые обеспечивают высокую добавленную стоимость.

В настоящее время нефтепереработка производит продукцию в основном для экспорта, поэтому на ее развитие большое влияние оказывает конъюнктура мирового рынка. Европа является для России традиционным рынком нефтепродуктов, но требования европейских экологических стандартов постоянно повышаются, соответственно нефтеперерабатывающие предприятия с первичными мощностями по переработке нефти не способны выпускать продукцию высокого качества. При продлении обозначенной тенденции в будущее Россия потеряет рынок дизельного топлива, мазута и других нефтепродуктов. Помимо этого такие страны, как Китай, Бразилия, Индия, развивают свои нефтеперерабатывающие мощности ускоренными темпами [1].

Повышение конкурирующих фирм делает функцию максимизации прибыли с минимизацией затрат все менее эффективной. Данная ситуация негативно сказывается на развитии экономики страны, и возникает явная необходимость адаптации к новым развивающимся схемам энергетических потребностей как на внутреннем, так и на мировом уровне. Для того чтобы нефтеперерабатывающие предприятия России выдерживали мировую конкуренцию, необходима модернизация предприятий как в техническом, так и в организационном плане. Нормальное функционирование предприятий в рыночных условиях обусловлено применением современных инструментов управления, учитывающих основные тенденции переработки, на всех уровнях управления в ходе планирования деятельности предприятий.

Реализация направлений развития нефтеперерабатывающих предприятий во многом зависит от правильно поставленных стратегических целей, т.к. они являются исходной точкой планирования деятельности предприятия. В настоящее время на производственную деятельность предприятий нефтепереработки оказывают серьезное влияние изменяющиеся условия рынка нефтепродуктов, такие как:

1) увеличение внутреннего спроса на все виды топлива, соответствующего Техническому регламенту;

2) выведение из оборота автомобильных бензинов ниже класса Евро-2;

3) дифференцирование акцизов по классам топлива;

4) расширение планов России о ведении деятельности на рынках нефтепродуктов Европы и Азии.

Данные условия рынка и трансформация налоговой системы при разработке стратегических целей нефтеперерабатывающих предприятий диктуют необходимость ориентации на потребности покупателей, обеспечивающей успех организации в конкурентной борьбе, способствующей решению перспективных масштабных проблем, качественно меняющих деятельность организации в долгосрочной перспективе.

При анализе долгосрочной перспективы нефтепереработки становится ясно, что с учетом темпов развития нефтеперерабатывающих мощностей в США, Индии и Китае конкуренция с каждым годом будет нарастать, как с точки зрения объемов производства, так и в области качества нефтепродуктов. В связи с этой перспективой для обеспечения конкурентоспособности российским нефтеперерабатывающим предприятиям стратегическая цель, на наш взгляд, должна быть ориентирована на производство высококачественных нефтепродуктов, соответствующих мировым стандартам, что обеспечит экономическое и технологическое преимущество.

Данная функция характеризует стратегическую цель, для достижения которой формируются следующие оперативные цели:

1) увеличение доли мощностей для выпуска продукции высокого качества;

2) оптимизация объема выпуска разных видов нефтепродуктов в зависимости от рыночного спроса на них;

3) повышение качества выпускаемой продукции;

4) удовлетворение потребностей внутреннего рынка в нефтепродуктах.

Для достижения целевых значений, таких как высокое качество и широкий ассортимент продукции, оптимальный объем производства, предприятиям необходимы изменения в оперативном планировании. Возможно построение дерева целей с отражением миссии компаний и выявленных оперативных целей, составление системы показателей, которые будут измерителями целей при их реализации, применение в управлении подходов, ориентированных на потребителя, например цепочка ценностей М. Портера, разработка управленческих решений с выявлением наиболее значимых факторов при принятии решений. Использование предложенных методов и подходов в управлении и ориентация на потребителя при постановке стратегических целей даст возможность нефтеперерабатывающему предприятию быть конкурентоспособным на рынке. Реализация планов по модернизации с целью выпуска качественных нефтепродуктов позволит предприятиям удовлетворять потребности внутреннего рынка в нефтепродуктах и даст возможность экспорта готовой продукции с высокой добавленной стоимостью, получая большую прибыль. Интенсивное развитие и повышение технологической сложности обеспечит нефтеперерабатывающим предприятиям конкурентные преимущества в условиях возрастающей конкуренции на мировом и внутреннем рынках.

Список литературы

1. Антонов М.Л. Матрица факторов как инструмент оперативного планирования деятельности нефтеперерабатывающего предприятия. [Электронный ресурс]: интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 6. ноябрь-декабрь. – URL: http://naukovedenie.ru/PDF/151EVN613.pdf (дата обращения 17.10.2014).

2. Дебердиева Е.М., Ленкова О.В. Корпоративная стратегия развития нефтегазовой компании; ИЭОПП СО РАН; отв. ред. А.Г. Коржубаев. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. – 168 с.

3. Дебердиева Е.М., Зольникова С.Н., Фаттыхов А.Р. Интерактивное планирование деятельности предприятия // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием: материалы заочной всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Тюмень, 2014. – С. 111–114.

4. Зольникова С.Н., Батурина М.С. Планирование производственной программы нефтеперерабатывающего предприятия с помощью метода динамического программирования // Математические методы и модели в управлении, экономике и социологии: сборник научных трудов. Вып. 8 (Международный). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 128–133.

5. Коновалова Г.И. Модель единой системы оперативного управления производством различных типов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2013. – № 5. – С. 51–58.

6. Ленкова О.В., Осиновская И.В., Шалахметова А.В. Теория принятия стратегических решений: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 080502 «Экономика и управление на предприятии (ТЭК)» 080507 «Менеджмент организации». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 224 с.

7. Маркова В.Д. Внутрифирменное планирование. [Электронный ресурс]: онлайн библиотека e-Reading. – 2012. – URL: http://www.e-reading.ws/bookreader.php/114505/Markova_-Vnutrifirmennoe_planirovanie.pdf (дата обращения 04.09.2014).

8. Обзор Европейского рынка нефтепереработки Ч. 3 // Нефтегазовые технологии. – 2014. – № 1. – С. 79–86.

9. Столяров А. В. Проблемы экономической оценки нефтяного потенциала // Нефть, газ и бизнес. – 2010. – № 1. – С. 19–21.

10. США отмечает рекордный рост экспорта нефтепродуктов [Электронный ресурс]: интернет-портал. 2013. 09 окт. URL: http://finance.bigmir.net/news/economics/40427-SShA-otmechaet-rekordnii-rost-eksporta-nefteprodyktov (дата обращения 25.08.2014).

References

1. Antonov M.L. *Naukovedenie*, 2013, no. 6, available at: http://naukovedenie.ru/PDF/151EVN613.pdf.

2. Deberdieva E.M., Lenkova O.V. *Korporativnaya strategiya razvitiya neftegazovoy kompanii* [Corporate strategy development oil and gas companies]. Novosibirsk, IEOPP SO RAN, 2011, 168 p.

3. Deberdieva E.M., Zolnikova S.N., Fattykhov A.R. *Innovatsii v upravlenii regionalnym i otraslevym razvitiem. Meterialy zaochnoy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (Materials correspondence All-Russian scientific-practical conference with international participation «Innovation in the management of regional and sectoral development». Tyumen, 2014, pp. 111–114.

4. Zolnikova S.N., Baturina M.S. *Matematicheskie metody i modeli v upravlenii, ekonomike i sotsiologii. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 8 (*Collection of scientific papers. Mathematical methods and models in management, economics and sociology). Tyumen, 2014, pp. 128–133.

5. Konovalova G.I. *Menedzhment v Rossii i zarubezhom*, 2013, no. 5, pp. 51–58.

6. Lenkova O.V., Osinovskaja I.V., Shalakhmetova A.V. *Teoriya prinyatiya strategicheskikh resheniy. Uchebnoe posobie* [Tutorial. The theory of strategic decision-making]. Tyumen, TyumGNGU, 2014, 224 p.

7. Markova V.D. *Vnutrifirmennoe planirovanie*. 2012, available at: http://www.e-reading.ws/bookreader.php/114505/Markova_- Vnutrifirmennoe_planirovanie.pdf.

8. Obzor evropeyskogo rynka neftepererabotki. *Neftegazovye tekhnologii*. 2014, no. 1, pp. 79–86.

9. Stolyarov A.V. *Neft, gaz i biznes, 2010,* no. 1, pp. 19–21

10. *Bigmirnet*. Available at: http://finance.bigmir.net/news/economics/40427-SShA-otmechaet-rekordnii-rost-eksporta-nefteprodyktov (accessed August 25 2014).

Рецензенты:

Волынская Н.А., д.э.н., профессор, директор ООО «Топливно-энергетический независимый институт», г. Москва;

Зубарев А.А., д.э.н., профессор кафедры менеджмента в отраслях топливно-энергетического комплекса, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 657.2

БЕНЧМАРКИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УЧЕТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕОРГАНИЗАЦИИ

Землякова С.Н.

ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», п. Персиановский, e-mail: zemlyakovasn@rambler.ru

В условиях повышенного риска сельскохозяйственным организациям приходится прибегать к более новым способам и методам улучшения деятельности вновь образованных в результате реорганизации организаций, коим и является бенчмаркетинг. Рассматривая бенчмаркинг как процесс адаптации вновь образованной сельскохозяйственной организации, следует отметить, что от него требуется сыграть роль подхода к планированию деятельности вновь образованной в результате реорганизации сельскохозяйственной организации. Специалисты, задействованные в осуществлении бенчмаркинга, будут числиться в составе бухгалтерского управленческого аппарата, а все расходы, связанные с разработкой, внедрением и функционированием инновационных технологий стратегии бенчмаркинга, будут включены в состав Управленческих расходов. Результаты бенчмаркинга должны быть оформлены документально. В разработанной Ведомости рассмотрены основные направления возможных исследований деятельности организаций, они могут быть задействованы выборочно, по требованию руководства организации либо дополнены глубже в соответствии с масштабами и спецификой деятельности. Так, применение бенчмаркинга способствует выявлению сильных и слабых аспектов деятельности на основе регулярного мониторинга и «эталонных значений», позволит оптимизировать структуру и динамику деятельности в процессе принятия высокоэффективных стратегических управленческих решений и позволит в дальнейшем совершенствовать учетно-аналитические механизмы, используемые в организации.

Ключевые слова: реорганизация, сельскохозяйственные организации, бенчмаркинг, стратегический учет, стратегические управленческие решения, управленческие расходы

BENCHMARKING AS A TOOL FOR STRATEGIC DECISION-MAKING IN THE AGRICULTURAL ORGANIZATIONS FORMED AS A RESULT OF THE REORGANIZATION

Zemlyakova S.N.

Don State Agrarian University, Persianovsky, e-mail: zemlyakovasn@rambler.ru

In conditions of high-risk agricultural organizations have to resort to more new ways and methods of improving the performance of newly formed as a result of reorganization of organizations, which is benchmarketing. Considering benchmarking as the process of adaptation of the newly formed agricultural organization, it should be noted that it is required to more role approach to the planning activities of the newly formed as a result of reorganization of agricultural organization. The experts involved in the implementation of the benchmarking will be enrolled in the accounting management apparatus, and all costs associated with the development, implementation and operation of innovative technologies strategy of benchmarking will be included in the Administrative expenses. The Benchmarking results should be documented. In developed statements, discussed the main directions of research activity of organizations, they can be used selectively, upon request of the management company or supplemented deeper, in accordance with the scope and specific activities. So the use of benchmarking helps to identify strong and weak aspects of its activities on the basis of regular monitoring and «reference values», will allow to optimize the structure and dynamics of activities in the process of making a highly effective strategic management decisions and will continue to improve accounting and analytical mechanisms used in the organization.

Keywords: reorganization, agricultural organizations, benchmarking, strategic accounting, strategic management decisions, administrative expenses

Стремительные трансформации на мировой политической арене вызывают необходимость шагать в ногу с этими изменениями. В условиях повышенного риска сельскохозяйственным организациям приходится прибегать к более новым способам и методам улучшения деятельности вновь образованных в результате реорганизации организаций, коим и является бенчмаркетинг.

Использование реорганизационных процедур в сельскохозяйственных организациях является одним из средств, позволяющих решить проблему обеспечения устойчивого и эффективного развития, повысить конкурентоспособность организации, найти пути решения нестабильного экономического роста [3, с. 6].

На современном этапе развития современных учетно-аналитических технологий для сельскохозяйственных организаций бенчмаркинг – достаточно новый инструмент, при этом довольно интересный, привлекательный, так как способствует росту конкурентоспособности исследуемой

организации и одновременно может вызвать и негативную реакцию в силу того, что во-первых, персонал недружелюбно настроен к каким-либо переменам, во-вторых, отсутствием четкого понимания в осуществлении задания и реальных оценок полученных результатов и, в-третьих, продуктивностью ожидаемых результатов от задействованных в этом сотрудников. Вышеперечисленные аспекты могут быть решены при внедрении радикальной и эффективной методики.

Основоположниками бенчмаркинга как целостной системы считают Г. Ватсона, Э. Деминга, М. Заири, Р. Кемпа, Ф. Кросби, К. Исикавы, Х. Харрингтона.

Среди нынешних российских исследований бенчмаркинга выделяются работы И. Арташиной, Е. Багиева, И. Данилова, Л. Кузнецова, Д. Маслова, М. Михайловой, Н. Моисеевой.

Природа происхождения термина «бенчмаркинг» берет начало в англоязычных странах от слова «benchmark», означающего нечто, обладающее определенным количеством, качеством и способностью быть использованным как стандарт или эталон при сравнении с другими предметами [4, 569].

В других странах применение бенчмаркинга осуществляется при непосредственной государственной поддержке (Великобритания – Центр бенчмаркинга Объединенного королевства, США – Международный информационный центр по бенчмаркингу, Германия – Немецкий центр бенчмаркинга, Швеция – Шведский институт качества и т.д.).

Современное экономическое пространство настоятельно требует соблюдения быстро меняющихся норм законодательной базы, применения высокоэффективных управленческих технологий, сопровождающихся сохранением финансовой устойчивости и платежеспособности, реорганизуемых организаций и учетно-аналитических механизмов, помогающих отразить процедуру в соответствии с бухгалтерскими стандартами [1].

На современном этапе его понимают как основу для принятия стратегических управленческих решений.

В рамках проводимого исследования следует сравнивать опыт организаций до момента реорганизации, выявить направления бенчмаркинга, детально изучить опыт функционирования реорганизуемых организаций и перенимать опыт для вновь образованной сельскохозяйственной организации с наименьшим количеством ошибок. Применение данной концепции позволит сократить затраты, повысить прибыль и оптимизировать динамику структуры и выбор стратегии деятельности образованной организации.

Рассматривая бенчмаркинг как процесс адаптации вновь образованной сельскохозяйственной организации, следует отметить, что от него требуется сыграть роль подхода к планированию деятельности вновь образованной в результате реорганизации сельскохозяйственной организации. Данный подход предполагает регулярную оценку уровня производства сельскохозяйственной продукции, позволяющую оценить положительный опыт и практику хозяйственной деятельности в других сельскохозяйственных организациях с целью использования приобретенных знаний и получения синергетического эффекта по окончании процедур реорганизации во вновь образованной организации [2].

По мнению Л.Н. Кузнецовой, бенчмаркинг с позиции практического применения в бухгалтерском учете должен стать эффективным методом систематической и непрерывной оценки процессов, практик и методологии учета организации, сопоставление их с опытом организаций с лидирующими позициями в целях получения информации и принятия решений, для усовершенствования собственной деятельности, включающей различные сегменты финансового и управленческого учета [5].

Специалисты, задействованные в осуществлении бенчмаркинга, будут числиться в составе бухгалтерского управленческого аппарата, а все расходы, связанные с разработкой, внедрением и функционированием инновационных технологий стратегии бенчмаркинга, будут включены в состав Управленческих расходов.

В бухгалтерском учете вновь образованной сельскохозяйственной организации управленческие расходы отражают по дебету счета 26 «Общехозяйственные расходы». Выделяют два варианта списания управленческих расходов в зависимости от метода формирования выручки, закрепленного в учетной политике (рисунок):

1. По полной производственной себестоимости. В данном случае Управленческие расходы в полной сумме включают в состав затрат на производство готовой продукции.

При этом в учете будут сделаны следующие записи:

А) Дебет 20 «Основное производство» Кредит 26 «Общехозяйственные расходы» – ежемесячно.

Б) Дебет 43 «Готовая продукция» Кредит 20 «Основное производство» – затраты отнесены в состав себестоимости готовой продукции.

Варианты порядка списания Управленческих расходов

В бухгалтерской финансовой отчетности организации их указывают в строке 2120 «Себестоимость продаж» Отчета о финансовых результатах – управленческие затраты в общей сумме расходов на производство. Вследствие этого в строке 2220 «Управленческие расходы» будет стоять прочерк.

2. По сокращенной производственной себестоимости. В данной ситуации управленческие расходы могут ежемесячно списываться на счет 90 «Продажи». В себестоимость готовой продукции их не включают. В учете делают записи:

А) Дебет 90 «Продажи» Кредит 26 «Общехозяйственные расходы» – ежемесячно.

Б) Дебет 43 «Готовая продукция» Кредит 20 «Основное производство» – оприходована готовая продукция исходя из ее сокращенной себестоимости.

В бухгалтерской финансовой отчетности организации сумму аналогичных затрат вписывают в строку 2220 «Управленческие расходы» новой унифицированной формы отчета.

Во вновь образованной в результате слияния организации может быть избран один из рассмотренных выше вариантов и закреплен в Приказе об Учетной политике.

Результаты Бенчмаркинга должны быть оформлены документально (табл. 1).

Форма представления может быть различной (проверочные таблицы; блок-схемы; диаграммы взаимосвязей; методики опроса; документирование процессов и т.д.), как и объекты исследований (направления бенчмаркинга могут быть направлены на обеспечение преимуществ как в системе формирования учетной информации, так в организации в целом). Нами рекомендована ведомость, которая могла бы послужить обобщающим документом результатов бенчмаркинга по возможным направлениям исследования.

В разработанной Ведомости рассмотрены основные направления возможных исследований деятельности организаций, они могут быть задействованы выборочно, по требованию руководства организации, либо дополнены глубже в соответствии с масштабами и спецификой деятельности. «Эталонные значения» – приемлемый уровень, к которому образованная организация будет стремиться, с имеющимся на отчетную дату потенциалом.

Рассматриваются показатели за период 1 год до момента реорганизации. Если рассматриваются одновременно несколько направлений бенчмаркинга, то снижаются общие затраты на проведение исследований. Полученные показатели способствуют выявлению сильных сторон и возможностей для совершенствования учетно-аналитических аспектов вновь образованной организации.

Таблица 1

Ведомость учета результатов бенчмаркинга реорганизуемых и вновь образованной организаций (по возможным направлениям бенчмаркинга)

№ п/п	Объект (направление) бенчмаркинга	1-я реорганизуемая организация	2-я реорганизуемая организация	«Эталонные значения»
1.	**Расходы:**			
	1.1. Операционные расходы			
	1.2. Прочие расходы			
2.	**Стоимость рабочей силы:**			
	2.1. Основные производственные рабочие:			
	2.1.1. отрасли растениеводства			
	2.1.2. отрасли животноводства			
	2.2. Специалисты организации			
	2.2.1. Специалисты растениеводства			
	2.2.2. Специалисты животноводства			
3.	**Стоимость основных фондов (здания/оборудование/земли)**			
	3.1. Здания производственного назначения			
	3.2. Здания непроизводственного назначения			
	3.3. Оборудование производственного назначения			
	3.4. Оборудование непроизводственного назначения			
	3.5. Земли производственного назначения			
	3.6. Земли непроизводственного назначения			
4.	**Дебиторская задолженность организации**			
5.	**Кредиторская задолженность организации**			

Таблица 2

Мониторинг результатов деятельности сельскохозяйственной организации за период, в сравнении с «Эталонными значениями»

№ п/п	Объект (направление) бенчмаркинга	«Эталонные значения»	Исследуемые периоды			
			1 кв.	2 кв.	3 кв.	4 кв.
1	2	3	4	5	6	7
1.	**Расходы:**					
	1.3. Операционные расходы					
	1.4. Прочие расходы					
2.	**Стоимость рабочей силы:**					
	2.1. Основные производственные рабочие:					
	2.1.1. отрасли растениеводства					
	2.1.2. отрасли животноводства					
	2.2. Специалисты организации					
	2.2.1. Специалисты растениеводства					
	2.2.2. Специалисты животноводства					
3.	**Стоимость основных фондов (здания/оборудование/земли)**					
	3.1. Здания производственного назначения					
	3.2. Здания непроизводственного назначения					
	3.3. Оборудование производственного назначения					
	3.4. Оборудование непроизводственного назначения					

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
	3.5. Земли производственного назначения					
	3.6. Земли непроизводственного назначения					
4.	**Дебиторская задолженность организации**					
5.	**Кредиторская задолженность организации**					

Затем по этим показателям, имея «Эталонные значения», следует проводить регулярный, непрерывный мониторинг, периоды исследования следует отразить в учетной политике сельскохозяйственной организации для целей управленческого учета (каждый квартал (1 раз в 3 месяца), каждый месяц или более короткие сроки, в зависимости от рассматриваемого направления и по требованию руководства) (табл. 2).

Проведение регулярного, последовательного и непрерывного мониторинга деятельности позволит в кратчайшие сроки отследить отклонения по интересующим направлениям, применить корректирующие мероприятия и принять своевременное стратегическое обдуманное решение, способствующее улучшению ситуации.

Таким образом, применение качественного нового инструмента учетно-аналитического обеспечения в сельскохозяйственных организациях значительно увеличит потенциал вновь образованной организации.

Так, применение бенчмаркинга способствует выявлению сильных и слабых аспектов деятельности на основе регулярного мониторинга и «эталонных значений», позволит оптимизировать структуру и динамику деятельности в процессе принятия высокоэффективных стратегических управленческих решений и позволит в дальнейшем совершенствовать учетно-аналитические механизмы, используемые в организации.

Список литературы

1. Землякова С.Н. Методический подход к формированию учетно-аналитического обеспечения реорганизационных процедур // Вестник ЮРГТУ (НПИ). – 2014. – № 6. – URL: http://vestnik-npi.info/social.

2. Землякова С.Н. Разработка внутрифирменного стандарта управленческого учета реорганизационных процедур в сельскохозяйственных организациях // Управленческий учет. – 1(2015). – URL: http://upruchet.ru.

3. Землякова С.Н. Совершенствование методики учета реорганизационных процедур сельскохозяйственных организациях: монография. – пос. Персиановский: Изд-во ДонГАУ, 2011. – 234 с.

4. Коваленко А.И. Маркетинговый анализ. – М., 2001. – 749 с.

5. Кузнецова Л.Н. Реализация концепции обучающейся организации в бухгалтерском учете // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (1). – С. 234–238; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=9999191.

References

1. Zemljakova S.N. Metodicheskij podhod k formirovaniju uchetno-analiticheskogo obespechenija reorganizacionnyh procedur, Vestnik JuRGTU (NPI), 2014, no. 6, URL: http://vestnik-npi.info/social.

2. Zemljakova S.N. Razrabotka vnutrifirmennogo standarta upravlencheskogo ucheta reorganizacionnyh procedur v sel'skohozjajstvennyh organizacijah, Upravlencheskij uchet, 2015, no. 1, URL: http://upruchet.ru.

3. Zemljakova S.N. Sovershenstvovanie metodiki ucheta reorganizacionnyh procedur sel'skohozjajstvennyh organizacijah, monografija, pos.Persianovskij, Izd-vo DonGAU, 2011, pp. 236.

4. Kovalenko A.I. Marketingovyj analiz, Moskva, 2001, 749pp.

5. Kuznecova L.N. Realizacija koncepcii obuchajushhejsja organizacii v buhgalterskom uchete, Fundamental'nye issledovanija, 2012, no. 6 (1), pp. 234–238 URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=9999191.

Рецензенты:

Бунчиков О.Н., д.э.н., профессор, зав. кафедрой отраслевой и мировой экономики, Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский;

Фетюхина О.Н., д.э.н., профессор кафедры управления и предпринимательства, Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 336.78

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКИМИ РИСКАМИ В КОНТЕКСТЕ БАЗЕЛЬСКИХ СОГЛАШЕНИЙ

[1]Князева Е.Г., [2]Парусимова Н.И.

[1]ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: keg55@list.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: osu_bank@mail.ru

Предметом исследования научной статьи выступают экономические отношения, возникающие в процессе управления банковскими рисками в национальной банковской системе. Целью научной статьи является индикативный анализ в области методов управления банковскими рисками. Банки обеспечивают ведение расчетов и платежей, принимают и хранят сбережения и вклады населения, компаний и государственных органов и используют эти средства для кредитования. В этом качестве банки выполняют функцию финансовых посредников. Они управляют потоками денежных средств, поступающих от вкладчиков, и принимают на себя риски в связи с осуществлением посреднических функций. Банки выступают в качестве институтов, деятельность которых направлена на получение прибыли, и самостоятельно принимают решение о том, какие риски они могут принять. Обосновывая целевую концепцию управления рисками банковской деятельности, в современных макроэкономических условиях кредитным учреждениям становится все сложнее поддерживать уровень ликвидности. Областью применения результатов исследования являются денежные потоки кредитных учреждений в области управления банковскими рисками.

Ключевые слова: банковские риски, методы управления банковскими рисками, Базельский комитет, ликвидность банков

TO THE QUESTION ABOUT THE METHODS OF BANKING RISK MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF BASEL

[1]Knyazeva E.G., [2]Parusimova N.I.

[1]Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: keg55@list.ru;

[2]Orenburg State University, Orenburg, e-mail: osu_bank@mail.ru

The study of scientific articles are economic relations arising in the process of risk management in the national banking system. The purpose of a scientific article is indicative analysis in the field of risk management method. Banks provide maintenance payments, accept and hold savings and deposits from the public, companies and government bodies and use these funds for lending. As banks perform the function of financial intermediaries. They control the flow of funds from depositors, and assume risks in connection with intermediary functions. Banks are institutions that focus on profit, and able to decide for themselves what risks they can take. Justifying the target concept of banking risk management in modern macroeconomic conditions, credit institutions is becoming increasingly difficult to maintain the level of liquidity. The scope of the results of the study are the cash flows of the credit institutions in the field of banking risk management.

Keywords: Bank risk, methods of banking risk management, Basel Committee, the liquidity of the banks

В процессе осуществления различных банковских операций и сделок кредитные организации подвержены целому спектру специфических банковских рисков.

Риск – это *стоимостное выражение вероятностного события, ведущего к определенным потерям*. Риски образуются в результате отклонения действительных данных от оценки сегодняшнего состояния экономического процесса и будущего его развития. Они могут быть как положительными, так и отрицательными.

Таким образом, прибыль можно получать только в случае, если возможности понести потери будут спрогнозированы заранее и захеджированы. Чем выше риск, тем больше вероятность получить высокую прибыль. В этом плане для кредитных организаций становится важным определить риск, классифицировать его и найти пути его оптимизации. Следовательно, банковский риск – это уровень неопределенности в предсказании, который может отразиться на деятельности банка в целом или повлиять на отдельные финансовые показатели.

Банковские риски являются в большей степени и социально ответственными процессами. В условиях, когда банки рискуют не только собственными, но главным образом заемными и привлеченными ресурсами, последствия становятся более острыми. В случае неудачи теряет не только банк, но и его клиенты – физические лица, предприниматели, юридические лица, в том числе другие банки, разместившие в нем свои денежные средства. Банковские кризисы оказываются при этом более болезненными, чем кризисы производства, поскольку влекут за собой многочисленные финансовые потери участников, связанных друг с другом цепочкой денежных обязательств.

При проведении кредитных операций банки несут не только специфические риски несбалансированной ликвидности, изменения процентных ставок и валютных курсов, риски, связанные с организацией кредитного процесса, но и принимают на себя общие экономические риски, сопряженные с деятельностью самого клиента-заемщика. Существует несколько теоретических подходов к рассмотрению совокупности банковских рисков. Общую классификацию автор исследования предлагает обобщить в виде табл. 1.

Российская банковская система согласно действующему законодательству включает в себя Банк России, кредитные организации, а также представительства иностранных банков. Использование данной трактовки в дальнейшем предусматривает наличие определенных полномочий у Банка России в сфере контроля за разнообразными банковскими рисками.

Законом «О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)» предусматривается, что Банк России устанавливает обязательные для кредитных организаций правила проведения банковских операций, обязательные нормативы и требования к банковским методикам управления рисками и моделям количественной оценки рисков. Отдельными нормативными актами Банка России регламентируются определение видов банковских рисков и основные рекомендации и требования по управлению рисками.

Таблица 1

Классификация банковских рисков

Критерии классификации	Виды банковских рисков
Уровень рисков	Риски на макроуровне Риски на микроуровне
Характер банковских операций и услуг	Риски по забалансовым операциям Кредитный риск Расчетный риск Валютный риск Операционный риск и др.
Степень обеспечения устойчивого развития кредитной организации	Риск ликвидности Процентный риск Риск потери доходности Риск потери конкурентоспособности Риск капитальной базы Риск-менеджмент
Факторы, образующие риски	Внешние риски (политические, экономические, демографические, социальные, географические и другие) Внутренние риски (в основной и вспомогательной деятельности, связанные с активами или пассивами банка, с качеством управления и реализацией банковских услуг)
Сфера и масштаб действия	Риск, исходящий от страны Риск, связанный с деятельностью определенного типа банка Риск, связанный с деятельностью центров финансовой ответственности Риск, исходящий от банковских операций – от группы операций определенного вида (совокупный риск); – от отдельных операций с определенным клиентом (индивидуальный риск)
Время возникновения	Ретроспективные риски Текущие риски Перспективные риски
Степень зависимости риска от банка	Риск, зависимый от деятельности банка Риск, не зависимый от деятельности банка
Вид банка	Риск специализированного банка Риск отраслевого банка Риск универсального банка
Величина риска	Низкие риски Умеренные риски Полные риски
Состав клиентской базы	Риск, исходящий от крупных, средних и мелких клиентов Риск, исходящий от отраслевой структуры клиентов
Характер учета операций	Риск по балансовым операциям Риск по внебалансовым операциям

Впервые методические подходы по происхождению и классификации типичных банковских рисков обобщены в 2004 г. в нормативном документе Банка России. В области регулирования банковских рисков стала производить типизация банковских рисков.

Понятие банковского риска определяется как присущая банковской деятельности возможность понесения кредитной организацией потерь и ухудшения ликвидности вследствие наступления неблагоприятных событий, связанных с внутренними и внешними факторами. К типичным банковским рискам относятся:

1) кредитный риск;

2) страновой риск (включая риск неперевода средств);

3) рыночный риск (рыночный риск включает в себя фондовый риск, валютный и процентный риски);

4) риск ликвидности;

5) операционный риск;

6) правовой риск;

7) риск потери деловой репутации кредитной организации (репутационный риск);

8) стратегический риск.

Рассмотрим особенности каждого риска и сформулируем основные методы управления ими.

Кредитный риск – риск возникновения у кредитной организации убытков вследствие неисполнения, несвоевременного либо неполного исполнения должником финансовых обязательств перед кредитной организацией в соответствии с условиями договора.

Процесс управления кредитным риском можно разбить на 3 этапа:

1 этап: управление кредитным портфелем:

– утверждение направлений кредитной политики банка;

– определение и установление лимитов кредитования (например, обязательные нормативы, утвержденные ЦБ РФ представлены в табл. 2);

– анализ факторов кредитного риска.

Таблица 2

Обязательные нормативы ЦБ РФ по кредитным рискам

№ п/п	Показатель	Формула	Величина
1	Норматив максимального размера риска на одного заемщика или группу связанных заемщиков (Н6)	$H6 = \frac{K_{рз}}{K} \cdot 100\ \%,$ $K_{рз}$ – совокупная сумма кредитных требований банка к заемщику, имеющему перед банком обязательства по кредитным требованиям, или группе связанных заемщиков за вычетом сформированного резерва на возможные потери по указанным кредитным требованиям; K – капитал банка	max 25 %
2	Максимальный размер крупных кредитных рисков (Н7)	$H7 = \frac{\sum K_{скрi}}{K} \cdot 100\ \%,$ $K_{скрi}$ – i-й крупный кредитный риск за вычетом сформированного резерва на возможные потери по соответствующим кредитным требованиям (условным обязательствам кредитного характера). Крупным кредитным риском является сумма кредитов, гарантий и поручительств в пользу одного клиента, превышающая пять процентов собственных средств (капитала) банка	max 800 %
3	Максимальный размер кредитов, банковских гарантий и поручительств, предоставленных банком своим участникам (акционерам) (Н9.1)	$H9.1 = \frac{\sum K_{раi}}{K} \cdot 100\ \%,$ $K_{раi}$ – величина i-го кредитного требования банка, а также кредитного риска по условным обязательствам кредитного характера и срочным сделкам в отношении участников (акционеров), которые имеют право распоряжаться 5 и более процентами долей (голосующих акций) банка за вычетом сформированного резерва на возможные потери по указанным кредитным требованиям	max 50 %
4	Совокупная величина риска по инсайдерам банка (Н10.1)	$H10.1 = \frac{\sum K_{рсиi}}{K} \cdot 100\ \%,$ $K_{рсиi}$ – величина i-го кредитного требования к инсайдеру* банка, кредитного риска по условным обязательствам кредитного характера и срочным сделкам, заключенным с инсайдером за вычетом сформированного резерва на возможные потери по указанным кредитным требованиям	max 3 %

Таким образом, Банк России, трактуя данные нормативы, пытается обратить внимание на основные причины реализованного кредитного риска.

2 этап: управление взаимоотношениями «банк – клиент»:

– инициирование кредита и анализ кредитоспособности заемщика;

– структурирование кредита;

– кредитный мониторинг и восстановление кредитов

3 этап: система управленческого контроля за кредитным риском.

Страновой риск – это риск возникновения у кредитной организации убытков в результате неисполнения иностранными контрагентами обязательств из-за экономических, политических, социальных изменений, а также вследствие того, что валюта денежного обязательства может быть недоступна контрагенту из-за особенностей национального законодательства. Оценка странового риска связана с формированием рейтингов. Например, агентство Эксперт РА присваивает два типа страновых рейтингов: рейтинги кредитоспособности суверенного правительства и рейтинги кредитного риска стран.

Рыночный риск – риск возникновения у кредитной организации убытков вследствие неблагоприятного изменения рыночной стоимости финансовых инструментов торгового портфеля и производных финансовых инструментов кредитной организации, а также курсов иностранных валют и драгоценных металлов.

Банк России разработал порядок расчета кредитными организациями величины рыночного риска. Ниже в исследовании эволюции Базельских соглашений авторы более подробно рассмотрят расчет величины данного риска.

Риск ликвидности – риск убытков вследствие неспособности кредитной организации обеспечить исполнение своих обязательств в полном объеме. Риск ликвидности возникает в результате несбалансированности финансовых активов и финансовых обязательств кредитной организации и возникновения непредвиденной необходимости немедленного и единовременного исполнения кредитной организацией своих финансовых обязательств.

Со стороны Банка России регулирование ликвидности реализуется через систему рефинансирования кредитных организаций, операции РЕПО, а надзор осуществляется посредством мониторинга нормативов ликвидности (табл. 3).

Стандарты, определяющие безопасную и надежную деятельность банков, разрабатываются на международном уровне и включаются в национальное законодательство многих стран. Базельский комитет по банковскому надзору был основан в 1974 г. при Банке международных расчетов. В него входят Центральные Банки крупнейших государств. Странами-членами Базельского комитета являются 27 государств: Австралия, Аргентина, Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Гонконг, Индия, Индонезия, Испания, Италия, Канада, Китай, Корея, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Россия, Саудовская Аравия, Сингапур, США, Турция, Франция, Швейцария, Швеция, Южная Африка, Япония [11].

Базельским комитетом выделяются следующие банковские риски: кредитный риск, страновой и риск перевода, рыночный риск, процентный риск, риск потери ликвидности, операционный риск, правовой риск и риск ухудшения репутации.

Таблица 3

Обязательные нормативы ликвидности банков

№ п/п	Показатель	Формула	Величина
1	Норматив мгновенной ликвидности банка (Н2)	регулирует риск потери банком ликвидности в течение одного операционного дня $$H2 = \frac{\text{Лам}}{\text{Овм} - 0{,}5 \cdot \text{Овм}^*} \cdot 100\,\% \geq 15\,\%$$	min 15 %
2	Норматив текущей ликвидности банка (Н3)	регулирует риск потери банком ликвидности в течение ближайших к дате расчета норматива 30 календарных дней $$H3 = \frac{\text{Лат}}{\text{Овт} - 0{,}5 \cdot \text{Овт}^*} \cdot 100\,\% \geq 50\,\%$$	min 50 %
3	Норматив долгосрочной ликвидности банка (Н4)	регулирует риск потери банком ликвидности в результате размещения средств в долгосрочные активы $$H4 = \frac{K_{\text{рд}}}{K + \text{ОД} + 0{,}5 \cdot \text{О}^*} \cdot 100\,\% \leq 120\,\%$$	max 120 %

Авторами предлагается рассмотреть эволюционную парадигму Базельских соглашений в контексте теории банковских рисков.

Основной целью Первого Базельского соглашения (Базель-I) являлось ограничение кредитных рисков. Минимальный размер достаточности капитала банка (который называют нормативным или регулятивным капиталом) установлен в размере 8% от суммы активов, взвешенной с учетом кредитного риска.

Для определения размера кредитного риска используются весовые коэффициенты по четырем группам активов: 0, 20, 50 и 100. Соответственно, чем выше риск, тем больше вес. Коэффициент 0 применяют для безрисковых активов, которые фактически исключаются из оценки суммы кредитного риска (наличность, золотые слитки, обязательства стран Организации экономического сотрудничества и развития, государственная задолженность стран G-10 и т.д.). Коэффициент 100 означает, что вся сумма соответствующего актива считается рискованной, ее полностью включают в величину кредитного риска (долговые обязательства коммерческих и других негосударственных организаций, государственные обязательства стран, не относящихся к промышленно развитым и т.д.).

Затем принимается документ, вносящий поправки в Базель-I, в котором были установлены требования к капиталу с учетом рыночного риска (Базель 1,5). Рыночный риск определялся как риск потерь по балансовым и внебалансовым позициям, возникающих под влиянием колебания рыночных цен: в результате рисков по финансовым инструментам, связанным с процентной ставкой, а также валютного и фондового рисков банка. Было предусмотрено два подхода к определению рыночного риска – стандартизированный подход и подход на основе внутренних моделей.

Стандартизированный подход был реализован Банком России в 1999 г. Рыночный риск определялся следующим образом [1]:

$$РР = 12{,}5\cdot(ПР + ФР + ВР),$$

где РР – совокупный размер рыночных рисков; ПР – процентный риск; ФР – фондовый риск; ВР – валютный риск.

При расчете фондовый и процентный риски делились на специальный риск, то есть обусловленный колебаниями цены конкретного финансового инструмента и связанный с его эмитентом, и общий риск – обусловленный рыночными колебаниями в целом.

Второе Базельское соглашение (Базель-II). Базель-II состоит из трех основных компонентов: минимальные требования к капиталу, надзорный процесс, рыночная дисциплина.

Первый компонент – минимальные требования к капиталу. При расчете минимальных требований к капиталу учитываются кредитный, рыночный и операционный риски. Отношение совокупного капитала к активам, как и согласно Базелю-I, не должно быть ниже 8%.

Кредитный риск. Предложено две методологии расчета требований к капиталу для покрытия кредитных рисков: на основе стандартизованного подхода и на основе внутренних рейтинговых систем для оценки кредитных рисков [4].

Стандартизованный подход основан на взвешивании величины кредитных требований на коэффициент, присваиваемый заемщику в зависимости от внешнего кредитного рейтинга, определенного одним из международных рейтинговых агентств (Standard & Poor's, Moody's, Fitch Ratings и др.). Приняты следующие значения весовых коэффициентов: 0, 20, 50, 100, 150%. Согласно требованиям к банковскому капиталу, весовые коэффициенты риска распределяются не по видам активов, а по группам заемщиков (государства, центральные банки, коммерческие банки, индивидуальные заемщики и т.д.).

Подход на основе внутренних рейтингов должен быть утвержден органами банковского надзора. Он основан на расчете ожидаемых убытков (EL) и непредвиденных убытков (UL) и представляет собой модель, которая включает следующие показатели: вероятность дефолта (PD), удельный вес убытков в случае дефолта (LGD), стоимость под риском дефолта (EAD), эффективный срок погашения (M). С использованием данных показателей определяется величина взвешенных с учетом кредитного риска активов.

Данным подходом предполагается два варианта: фундаментальный и продвинутый. В рамках фундаментального подхода банки предоставляют собственные оценки PD и используют внешние оценки остальных составляющих риска. В рамках продвинутого подхода банки используют собственные оценки PD, LGD, EAD и M на основе соблюдения минимальных стандартов.

Операционный риск. Базель-II предполагает три метода расчета требований к капиталу под операционный риск: базовый индикативный подход, стандартизованный подход и «продвинутые» подходы (AMA).

Рыночный риск. Стандартизованный подход и подход на основе внутренних моделей были включены в Базель-II. Новая редакция стандартизованного подхода реализована Банком России [2]:

$$РР = 10\cdot(ПР + ФР) + ВР,$$

где РР – совокупный размер рыночных рисков; ПР – процентный риск; ФР – фондовый риск; ВР – валютный риск.

В 2011 г. Базельский комитет публикует документ «Пересмотр подходов Базеля-II к оценке рыночного риска» (Базель-2.5), который вносит изменения в подходы к определению рыночного риска [3]:

$$РР = 12,5\cdot(ПР + ФР) + ВР,$$

где РР – совокупный размер рыночных рисков; ПР – процентный риск; ФР – фондовый риск; ВР – валютный риск.

Подход на основе внутренних моделей считается более точным, включает методологии VaR, Stressed-VaR (усиленный VaR), IRS (добавочный риск).

Второй компонент – надзорный процесс. Выделены основные принципы надзорного процесса.

Принцип 1. Банки должны иметь процедуры оценки общей достаточности капитала и стратегию поддержания уровня этого капитала.

Принцип 2. Органы банковского надзора должны проверять и оценивать определение банками достаточности капитала и стратегию поддержания уровня этого капитала, а также их способность обеспечивать соблюдение нормативов капитала. Если органы банковского надзора не удовлетворены результатами проверки, они должны предпринимать необходимые надзорные действия.

Принцип 3. Органы банковского надзора вправе предполагать, что банки будут поддерживать капитал на уровне выше минимальных требований.

Принцип 4. Органы банковского надзора для предотвращения снижения уровня капитала ниже минимальных требований должны осуществлять превентивное вмешательство, а также принимать срочные меры, если размер капитала не поддерживается на достаточном уровне или не восстанавливается до достаточного уровня [5].

Третий компонент – рыночная дисциплина. Рыночная дисциплина дополняет минимальные требования к достаточности капитала и надзорный процесс. Рыночная дисциплина стимулируется путем установления ряда нормативов информационной открытости банков, стандартов их связей с надзорными органами и внешним миром.

Третье Базельское соглашение (Базель-III) появилось в 2010–2011 гг. как реакция на глобальный финансовый кризис 2008 г., оно не является самостоятельным документом, а дополняет Базель-II. Согласно Базелю-III в благоприятные периоды банкам следует формировать резервные запасы капитала свыше регулятивного минимума [10]. Эти резервные запасы могут быть использованы для покрытия убытков и должны быть достаточными по объему, чтобы банки были способны поддерживать уровень капитала выше минимальных требований в период существенного спада в банковском секторе. В случаях, когда резервные запасы были использованы, банки будут обязаны их восстановить.

Если регулятор считает, что в стране наблюдается кредитный бум или перегрев экономики, он может повышать требования к достаточности капитала [9], согласно чему банки в периоды потенциального возникновения кредитных «пузырей» будут обязаны формировать специальный «контрциклический» резерв.

Базель-III устанавливает, что в случае несоблюдения требований кредитные организации не имеют права выплачивать дивиденды акционерам, а также бонусы и другие премии своим управляющим [7].

Одновременно вводятся нормативы, нацеленные на ограничение финансового рычага (левериджа – соотношение заемного и собственного капитала), а также два показателя – ликвидности и чистого стабильного финансирования.

Риск ликвидности возникает в результате неспособности банка профинансировать рост активов, либо отрегулировать сокращение пассивов. В экстремальных случаях недостаток ликвидности может привести к неплатежеспособности банка [6].

Следовательно, банковские краткосрочные обязательства сроком до 30 дней должны быть покрыты ликвидными активами на 100%. Средства, размещенные в долгосрочные активы, должны быть покрыты стабильными пассивами также не менее чем на 100%.

На сегодняшний день внимание Банка России направлено на повышение качества системы управления ликвидностью в каждом банке, что полностью совпадает с основными текущими задачами Базельского комитета в части регулирования ликвидности банковского сектора и требований Базеля-III [8]. Методы управления ликвидностью банка обобщены авторами в табл. 4.

Таким образом, каждый банк, реализуя свою стратегию, определяет, какой метод будет оптимальным на конкретном этапе экономического развития банка.

Таблица 4

Основные методы управления ликвидностью банка

Метод управления ликвидностью	Содержание метода
Управление активами	Банк определяет пути размещения собственных и привлеченных средств таким образом, чтобы при минимальном риске получить максимально возможный доход, оставаясь при этом ликвидным
Управление пассивами	Банк определяет политику управления размером собственного капитала и привлеченных средств, их оптимальную структуру с целью дальнейшего эффективного использования в активных операциях. В узком смысле управление ликвидностью через управление пассивами часто сводится к действиям, направленным на изыскание заемных средств по мере возникновения потребности в них для поддержания ликвидности
Сбалансированное управление активами и пассивами	Метод является применением портфельного подхода к управлению ликвидностью через согласованное управление активами и пассивами банка

Операционный риск – это риск возникновения убытков в результате несоответствия характеру и масштабам деятельности кредитной организации и требованиям действующего законодательства внутренних порядков и процедур проведения банковских операций и других сделок.

Банк России ввел порядок расчета размера операционного риска. Операционный риск включает в себя четыре основных вида рисков, сгруппированных в зависимости от источника потерь:

1) риск бизнес-процессов – риск потерь, связанных с несовершенством или нарушением технологии осуществления банковских операций, в том числе продаж банковских продуктов, расчетов, учета и отчетности, внутреннего ценообразования, контроля и пр.;

2) риск систем – риск потерь, связанных с несовершенством или сбоем в работе компьютерных или телекоммуникационных систем, программного обеспечения;

3) риск персонала – риск потерь, связанных с преднамеренными или непреднамеренными ошибками персонала, вызванными недобросовестностью или небрежностью, некомпетентностью, недостаточностью или неустойчивостью штата организации либо нарушениями криминального характера;

4) внешний риск – риск потерь, вызванных внешними событиями: изменениями системы государственного управления, законодательства, налогового режима, социальными факторами, стихийными бедствиями и др.

Соответственно, в разрезе каждого вида идет определение методологии управления данными рисками.

Правовой риск – риск возникновения у кредитной организации убытков вследствие: несоблюдения кредитной организацией требований нормативных правовых актов и заключенных договоров; допускаемых правовых ошибок при осуществлении деятельности; несовершенства правовой системы; нарушения контрагентами нормативных правовых актов, а также условий заключенных договоров.

Методы управления правовым риском:

– стандартизация банковских операций и сделок;

– наличие обратной связи сотрудников юридической службы с сотрудниками иных подразделений банка;

– анализ влияния факторов правового риска на показатели деятельности банка;

– мониторинг на постоянной основе изменений законодательства РФ, законодательства стран, на территории которых банк осуществляет или планирует осуществлять операции;

– страхование правовых рисков, в том числе страхование риска потери права собственности.

Риск потери деловой репутации кредитной организации – риск возникновения у кредитной организации убытков в результате уменьшения числа клиентов вследствие формирования в обществе негативного представления о финансовой устойчивости кредитной организации, качестве оказываемых ею услуг или характере деятельности в целом.

В общем виде управление риском потери деловой репутации рассматривается, как правило, в качестве специфического вида деятельности, состоящего из определенных последовательных этапов: идентификация и оценка риска на основании определенных индикаторов; принятие решения относительно выявленного риска; контроль уровня риска; прогнозирование уровня риска.

Стратегический риск – риск возникновения у кредитной организации убытков в результате ошибок, допущенных при принятии решений, определяющих стратегию

деятельности и развития кредитной организации и выражающихся в недостаточном учете возможных опасностей, которые могут угрожать деятельности кредитной организации, неправильном или недостаточно обоснованном определении перспективных направлений деятельности, в которых кредитная организация может достичь преимущества перед конкурентами, отсутствии или обеспечении в неполном объеме необходимых ресурсов и организационных мер, которые должны обеспечить достижение стратегических целей деятельности кредитной организации.

Применяемыми методами управления стратегическим риском в банке являются: финансовое планирование (особенно бизнес-планирование); контроль за выполнением утвержденных планов; анализ изменения рыночной среды; корректировка планов.

Подводя итог, допустимо выделить особую актуальность целесообразности правильной оценки банковских рисков и принятия мобильного решения по использованию конкретного метода управления банковскими рисками или комплексного подхода. Экономика любой страны циклична и кризисы обращают наше внимание на необходимость исследования банковских рисков в экономических и социальных сферах деятельности общества.

Список литературы

1. Банк международных расчетов. Режим доступа: http://www.bis.org/bcbs/index.htm.

2. Мануйленко В.В. Определение экономического капитала по кредитному риску на основе имитационной модели ожидаемых потерь в российских банках // Финансы и кредит. – 2013. – № 32. – С. 2–11.

3. Международная конвергенция измерения капитала и стандартов капитала: Уточненные рамочные подходы. Базельский комитет по банковскому надзору // Банк международных расчетов. – 2004. – С. 177–184.

4. Основополагающие принципы эффективного банковского надзора. Банковский надзор. Европейский опыт и российская практика: пер. с англ. яз.; под ред. М. Олсена. – Представительство Европейской комиссии в России. Центральный банк Российской Федерации. – 2005. – Приложение 7. – С. 287.

5. Повышение устойчивости банковского сектора. Базельский Комитет по банковскому надзору: пер. с англ. яз. – Банк России, 2009. – С. 102–103.

6. Положение о порядке расчета кредитными организациями размера рыночных рисков (утв. Банком России 24.09.1999 № 89-П).

7. Положение о порядке расчета кредитными организациями величины рыночного риска» (утв. Банком России 14.11.2007 № 313-П).

8. Положение о порядке расчета кредитными организациями величины рыночного риска» (утв. Банком России 28.09.2012 № 387-П).

9. Петрова Е.А. Влияние изменений нормативов Базельского комитета на практику секьюритизации лизинговых активов // Финансы и кредит. – 2014. – № 4. – С. 50–59.

10. Тарада А.С. Развитие наднационального антикризисного управления кредитными организациями и единство регулирования // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 28. – С. 51–63.

11. Хасянова С.Ю. Реализация международных требований к капиталу (Базель III) в банковском секторе России // Финансы и кредит. – 2013. – № 26. – С. 22–28.

References

1. Bank mezhdunarodnyh raschetov. Rezhim dostupa: http://www.bis.org/bcbs/index.htm.

2. Manujlenko V.V. Opredelenie jekonomicheskogo kapitala po kreditnomu risku na os-nove imitacionnoj modeli ozhidaemyh poter' v rossijskih bankah // Finansy i kredit. 2013. no. 32. pp. 2–11.

3. Mezhdunarodnaja konvergencija izmerenija kapitala i standartov kapitala: Utochnen-nye ramochnye podhody. Bazel'skij komitet po bankovskomu nadzoru // Bank mezhdunarodnyh raschetov. 2004. pp. 177–184.

4. Osnovopolagajushhie principy jeffektivnogo bankovskogo nadzora. Bankovskij nad-zor. Evropejskij opyt i rossijskaja praktika: per. s angl. jaz.; pod red. M. Olsena. Predstavitel'stvo Evropejskoj komissii v Rossii. Central'nyj bank Rossijskoj Federacii. 2005. Prilozhenie 7. pp. 287.

5. Povyshenie ustojchivosti bankovskogo sektora. Bazel'skij Komitet po bankovskomu nadzoru: per. s angl. jaz. Bank Rossii, 2009. pp. 102–103.

6. Polozhenie o porjadke rascheta kreditnymi organizacijami razmera rynochnyh riskov (utv. Bankom Rossii 24.09.1999 no. 89-P).

7. Polozhenie o porjadke rascheta kreditnymi organizacijami velichiny rynochnogo ris-ka» (utv. Bankom Rossii 14.11.2007 no. 313-P).

8. Polozhenie o porjadke rascheta kreditnymi organizacijami velichiny rynochnogo ris-ka» (utv. Bankom Rossii 28.09.2012 no. 387-P).

9. Petrova E.A. Vlijanie izmenenij normativov Bazel'skogo komiteta na praktiku sek'-juritizacii lizingovyh aktivov // Finansy i kredit. 2014. no. 4. pp. 50–59.

10. Tarada A.S. Razvitie nadnacional'nogo antikrizisnogo upravlenija kreditnymi or-ganizacijami i edinstvo regulirovanija // Finansovaja analitika: problemy i reshenija. 2014. no. 28. pp. 51–63.

11. Hasjanova S.Ju. Realizacija mezhdunarodnyh trebovanij k kapitalu (Bazel' III) v bankovskom sektore Rossii // Finansy i kredit. 2013. no. 26. pp. 22–28.

Рецензенты:

Домников А.Ю., д.э.н., профессор кафедры банковского и инвестиционного менеджмента Института «Высшая школа экономики и менеджмента», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Разумовская Е.А., д.э.н., профессор кафедры страхования Института «Высшая школа экономики и менеджмента», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 368

СТРАХОВОЙ РЫНОК РОССИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ РАЗВИТИЯ

Князева Е.Г., Юзвович Л.И., Смородина Е.А., Павленко А.О.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: keg55@list.ru, yuzvovich@bk.ru, smorodina_e@mail.ru, kafedra_s2011@mail.ru

Предметом исследования научной статьи выступают экономические отношения, возникающие в процессе организации страховых отношений в национальной экономической системе. Целью научной статьи является эмпирический анализ в области страхового рынка России, в части определения его основных направлений развития в современных условиях. Обосновывая целевую концепцию развития страхового рынка России, в современных макроэкономических условиях страховым организациям становится все сложнее поддерживать уровень рентабельности и обеспечивать финансовую устойчивость. Поддержание уровня рентабельности и оптимизация каналов продаж являются приоритетными задачами страховщиков. В современных условиях сокращение количества субъектов страхового дела при одновременном росте собираемых страховых премий и осуществляемых выплатах по договорам страхования говорит о концентрации страхового рынка. Причинами выступает сокращение темпов роста, ухудшение экономической ситуации, падение рентабельности страхового рынка. В рамках эмпирического анализа, в контексте конкурентоспособности определяются ТОП-5 лидеры страхового рынка. На функционирование страхового рынка оказывает влияние изменение уровня потребительской активности в смежных отраслях, например снижение спроса на новые автомобили. Страховые резервы, формируемые из страховых премий и являющиеся основой для выполнения страховщиком своих обязательств по осуществлению страховой защиты, должны увеличиваться пропорционально принимаемым рискам с целью обеспечения финансовой устойчивости страховой организации. Областью применения результатов исследования являются денежные потоки страховых компаний.

Ключевые слова: страховой рынок, финансовая устойчивость страховых организаций, страховые резервы, страховые премии

THE INSURANCE MARKET IN RUSSIA: THE CURRENT DEVELOPMENT CHALLENGES

Knyazeva E.G., Yuzvovich L.I., Smorodina E.A., Pavlenko A.O.

Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: keg55@list.ru, yuzvovich@bk.ru, smorodina_e@mail.ru, kafedra_s2011@mail.ru

The study of scientific articles are economic relations arising in the process of organization of insurance relations in the national economic system. The purpose of a scientific article is an empirical analysis in the field of Russian insurance market, in part determine the main direction of development in modern conditions. Justifying the target concept of development of the Russian insurance market, in modern macroeconomic conditions of the insurance companies is becoming increasingly difficult to maintain profitability and ensure financial stability. Maintaining profitability and optimization of sales channels is a priority for insurers. In modern conditions the reduction in the number of subjects of insurance business with a simultaneous increase of insurance premiums collected and ongoing payments under insurance contracts, means of concentration of the insurance market. The reason is the reduction in the rate of growth, the worsening economic situation, the decline in the profitability of the insurance market. In the framework of the empirical analysis, in the context of competitiveness are determined by the TOP 5 leaders of the insurance market. On the functioning of the insurance market is affected by the change in the level of consumer activity in related industries, such as reduced demand for new cars. Insurance funds generated from insurance premiums and is the basis for execution by the insurer of its obligations under the insurance protection, should increase in proportion to accept risks in order to ensure the financial stability of the insurance company. The scope of the results of the study are the cash flows of insurance companies.

Keywords: the insurance market, the financial stability of insurance companies, insurance funds, insurance premiums

Усложнение общей экономической ситуации обуславливает снижение расходов населения и бизнеса. Это, в свою очередь, сказывается на всех отраслях экономики, так как расходы одних участников рынка одновременно являются доходами других. Одновременно снижается покупательная способность населения, включая расходы на страхование, замедляются темпы роста кредитования. Банковское кредитование, представляющее собой драйвер роста страхового рынка в прошлые годы, в такой ситуации теряет свои позиции. Замедление роста кредитного портфеля отмечается во всех сегментах рынка, но наибольшим оно стало в сегменте кредитования населения. Годовые темпы роста розничного кредитного портфеля снизились на 1 июня 2014 г. до 21,3 % (с 31,0 % на 1 января 2014 г.), на 1 августа 2014 г. – до 17,3 % [3]. На состоянии страхового рынка сказываются также законодательные новации в этой сфере, изменения конкурентной среды и сжатие уровня спроса в других отраслях. Изменение законодательства связано с распространением действия законодательных требований о за-

щите прав потребителей на сферу страховых отношений, повышением лимитов ответственности страховщика и изменениями тарифов в сегменте обязательного страхования автогражданской ответственности (ОСАГО).

Замедление темпов роста страхового рынка усиливает конкуренцию, что вызывает изменения в списках лидирующих компаний. В Топ-5 лидеров страхового рынка в 1 полугодии 2014 года произошли изменения. Например, по КАСКО СГ «АльфаСтрахование» переместилась с 6-го на 5-е место, сместив СОАО «ВСК» (табл. 1).

На функционирование страхового рынка оказывает влияние изменение уровня потребительской активности в смежных отраслях, например снижение спроса на новые автомобили. В октябре 2014 г. продажи новых легковых автомобилей снизились на 9,9% по сравнению с октябрем 2013 г., за период январь – октябрь 2014 г. снижение составило 12,7% по сравнению с аналогичным периодом 2013 г. [7]. Сокращение количества приобретаемых автомобилей оказывает прямое воздействие на объем страховых премий, получаемым по таким видам страхования, как ОСАГО и КАСКО.

В современных макроэкономических условиях страховым организациям становится все сложнее поддерживать уровень рентабельности и обеспечивать финансовую устойчивость. Поддержание уровня рентабельности и оптимизация каналов продаж являются приоритетными задачами страховщиков в 2014 году.

По прогнозам наименее рентабельными в 2014 г. останутся КАСКО, ОСАГО и ДМС, наиболее рентабельными – страхование ответственности и страхование от несчастных случаев и болезней. Средний ожидаемый коэффициент убыточности в 2014 году составит: по ОСАГО – 79%, по КАСКО – 82%, по добровольному медицинскому страхованию (ДМС) – 80%, по страхованию ответственности – 44%, по страхованию от несчастных случаев и болезней – 47% [6].

Динамика показателей, характеризующих состояние страхового рынка Российской Федерации, представлена в табл. 2.

Таблица 1

Изменения в Топ-5 лидеров страхового рынка
в 1 полугодии 2014 года относительно 1 полугодия 2013 года [5]

Период	Место в ТОП-5									
	в 1 полугодии 2013 г.					в 1 полугодии 2014 г.				
Вид страхования / Страховая компания	Автокаско	ДМС	ОСАГО	Страхование жизни	Страхование от НС и болезней	Автокаско	ДМС	ОСАГО	Страхование жизни	Страхование от НС и болезней
Группа «Ингосстрах» / Группа «ИНГО»	1	4	3			1	5	4		
ОСАО «РЕСО-Гарантия»	2	2	2			3	3	2		
ГК РОСГОССТРАХ / ГК РОСГОССТРАХ и КАПИТАЛ	3	5	1	3	3	2	2	1	4	2
ООО «СК «СОГЛАСИЕ»	4					4		5		
СОАО «ВСК»	5		5		4			3		5
СГ «АльфаСтрахование»				2		5			3	
СГ «СОГАЗ» / Группа «СОГАЗ»		1					1			3
Группа «Альянс»		3					4			4
ОАО «СГ МСК»			4							
ООО «Страховая компания «Ренессанс Жизнь»				1					2	
ЗАО «АЛИКО» / ЗАО «МЕТЛАЙФ»				4					5	
Группа страховых компаний «Русский стандарт»				5						
Сбербанк Страхование Жизни									1	
ООО «ППФ Страхование жизни»					1					
ООО «Страховая компания «ВТБ страхование»					2					1
Страховая группа «ТРАНСНЕФТЬ»					5					

Таблица 2

Динамика показателей страхового рынка Российской Федерации в 2011–2014 гг. (1 полугодие), млрд руб. [4, 9].

Показатель	2011	2012	2013	1 полугодие 2014
Страховые премии, всего	**663,66**	**812,47**	**904,86**	**507,23**
в том числе:				
по обязательным видам (без учета обязательного медицинского страхования)	110,81	150,21	165,73	92,98
по добровольным видам	552,85	662,26	739,13	414,25
Страховые выплаты, всего	**303,14**	**370,78**	**420,77**	**216,06**
в том числе:				
по обязательным видам	62,69	76,09	94,77	49,35
по добровольным видам	240,45	294,69	326,00	166,71
Уровень выплат по рынку страхования, %	45,68	45,64	46,5	42,60
Уровень выплат по обязательным видам, %	56,57	50,66	57,18	53,08
Уровень выплат по добровольным видам, %	43,49	44,50	44,12	40,24
Количество субъектов страхового дела в государственном реестре	579	469	432	425
из них:				
страховых организаций	572	458	420	412
обществ взаимного страхования	7	11	12	13

Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что объем собранных страховых премий и произведенных выплат в Российской Федерации демонстрирует рост. Прирост страховых премий за период 2011–2013 гг. составил 36,3 %, объем выплат по договорам страхования за тот же период вырос на 38,8 %.

Объем выплат увеличивается более быстрыми темпами, чем объем собираемых страховых премий, это не является положительной тенденцией. Страховые резервы, формируемые из страховых премий и являющиеся основой для выполнения страховщиком своих обязательств по осуществлению страховой защиты, должны увеличиваться пропорционально принимаемым рискам с целью обеспечения финансовой устойчивости страховой организации.

Наблюдается замедление ежегодных темпов прироста страховых премий (с 22,4 до 11,4 %) и выплат (с 22,3 до 13,5 %) в 2013 году, что говорит о снижении динамики развития национального страхового рынка и существовании проблем, обусловливающих сдерживание его активного расширения. В 1 полугодии 2014 г. страховые взносы выросли на 8,4 %, что на 5,3 % ниже показателя за аналогичный период прошлого года. Наибольший прирост премий в 1 полугодии 2014 г. продемонстрировали сегменты страхования жизни, добровольное медицинское страхование и страхование от несчастных случаев и болезней.

Сегмент добровольного страхования практически в 4,5 раза (по премиям) и в 3,5 раза (по выплатам) больше сегмента страхового рынка, представленного обязательными видами страхования. Так, за 1 полугодие 2014 г. по добровольным видам страхования было собрано страховых премий на сумму 414,25 млрд руб., в то время как по обязательным видам страхования было получено 92,98 млрд руб. За тот же период времени по добровольным видам страхования осуществлено выплат на сумму 166,71 млрд руб., по обязательным – 49,35 млрд руб.

Особого внимания заслуживает показатель, характеризующий уровень выплат по страховым операциям, который в 1 полугодии 2014 г. по всему страховому рынку в целом составил 42,6 %, по добровольным видам страхования – 40,24 %, по обязательным видам страхования – 53,08 %. Как показывают представленные данные, обязательные виды страхования являются более убыточными, чем добровольные. Уровень выплат по добровольным видам находится на уровне ниже среднего показателя по рынку, а по обязательным видам – превышает его.

Количество субъектов страхового дела, зарегистрированных в государственном реестре, за период 2011 г. – 1 квартал 2014 г.

снизилось с 579 до 425 (на 154 субъекта). Снижается количество страховых организаций, а количество обществ взаимного страхования, наоборот, демонстрирует тенденцию ежегодного увеличения (с 7 в 2011 г. до 13 в 2014 г.).

Сокращение количества субъектов страхового дела при одновременном росте собираемых страховых премий и осуществляемых выплатах по договорам страхования говорит о концентрации страхового рынка. Причинами выступают сокращение темпов роста, ухудшение экономической ситуации, падение рентабельности страхового рынка [11].

Топ-10 компаний в 1 квартале 2014 г. собрали 61,3% всех страховых премий (без взносов на обязательное медицинское страхование), индекс концентрации (отражает изменение относительной рыночной доли крупнейших российских страховщиков и рассчитывается как доля Топ-10 страховщиков non-life по взносам в совокупных рыночных взносах (без взносов на обязательное медицинское страхование), включая входящее перестрахование) составил 57,5% [5]. В 2014 г. ожидается дальнейшая концентрация рынка за счет сокращения доли средних и мелких страховщиков из-за недостатка накопленных ресурсов и наличия большого количества убыточных полисов в портфеле [6].

На основе анализа структуры страховых премий и выплат по видам страхования выявим современные тенденции развития страхового дела (табл. 3). В структуре страховых премий и выплат за период 2011 г.– 1 полугодие 2014 г. произошли следующие изменения:

– по страхованию жизни: доля премий увеличилась с 5,2 до 9,4%, доля выплат изменилась незначительно с 2,6 до 2,7%;

– по личному страхованию, кроме страхования жизни: доля премий увеличилась с 21,9 до 26,2%, доля выплат снизилась с 26,8 до 23,7%;

– по страхованию имущества: доля премий сократилась с 50,2 до 40,5%, доля выплат незначительно снизилась с 48,3 до 47,8%;

– по страхованию гражданской ответственности: доля премий снизилась с 4,1 до 3,4%, доля выплат увеличилась с 1,2 до 2,2%;

– по страхованию предпринимательских и финансовых рисков: доля премий увеличилась с 1,8% до 2,2%, доля выплат незначительно увеличилась с 0,5 до 0,8%;

– по ОСАГО: доля премий снизилась с 15,6 до 13,3%, доля выплат увеличилась с 18,5 до 18,7%;

– по обязательным видам страхования, кроме ОСАГО: доля премий выросла с 1,1 до 5,0%, доля выплат выросла с 2,1 до 4,1%.

В 1 полугодии 2014 г. страховой рынок представлен на 81,7% по премиям и на 77,2% по выплатам добровольными видами страхования, на 18,3% по премиям и на 22,8% по выплатам – обязательными видами страхования.

Премии, собираемые по виду страхования жизни, демонстрируют ежегодный прирост и составляют 9,4% в общем объеме премий, полученных в 1 полугодии 2014 г. С 2011 г. доля премий по страхованию жизни увеличилась на 4,2%. Выплаты по виду страхования жизни изменялись разнонаправленно и в 1 полугодии 2014 г. составили 2,7% в общем объеме выплат. За период 2011 г. – 1 полугодие 2014 г. доля выплат по страхованию жизни изменилась незначительно – на 0,1%, в то же время в 2012 г. наблюдалось увеличение до 3,6% с последующим спадом.

Таблица 3

Динамика структуры страховых премий и выплат по видам страхования в Российской Федерации в 2011 – 1 полугодии 2014 гг., % [9]

Вид страхования	2011		2012		2013		1 полугодие 2014	
	Премии	Выплаты	Премии	Выплаты	Премии	Выплаты	Премии	Выплаты
Страхование жизни	5,2	2,6	6,5	3,6	9,4	2,9	9,4	2,7
Личное страхование, кроме страхования жизни	21,9	26,8	22,6	24,9	23,1	24,5	26,2	23,7
Страхование имущества	50,2	48,3	46,3	49,0	43,5	48,0	40,5	47,8
Страхование гражданской ответственности	4,1	1,2	3,7	1,4	3,3	1,7	3,4	2,2
Страхование предпринимательских и финансовых рисков	1,8	0,5	2,4	0,6	2,4	0,4	2,2	0,8
Итого добровольные виды страхования	**83,3**	**79,3**	**81,5**	**79,5**	**81,7**	**77,5**	**81,7**	**77,2**
ОСАГО	15,6	18,5	14,9	17,3	14,8	18,4	13,3	18,7
Обязательное страхование, кроме ОСАГО	1,1	2,1	3,6	3,2	3,5	4,1	5,0	4,1
Итого обязательные виды страхования	**16,7**	**20,7**	**18,5**	**22,1**	**18,3**	**22,5**	**18,3**	**22,8**

Страхование жизни не является популярным видом страхования в Российской Федерации, поэтому не оказывает существенного влияния на стимулирование роста страхового рынка в целом. Основным источником развития страхования жизни служит банковский канал продаж (заключение договоров страхования жизни при выдаче кредитов), поэтому рост в данном сегменте напрямую зависит от уровня кредитной активности. При этом повышение уровня закредитованности будет служить фактором риска в долгосрочной перспективе. Развитие классических видов страхования жизни в Российской Федерации происходит медленно. Основой развития страхования жизни должно стать накопительное и пенсионное страхование жизни при условии введения налоговых льгот и закрепления инвестиционных продуктов [10].

Личное страхование (кроме страхования жизни) представлено такими видами, как страхование от несчастных случаев и болезней и медицинское страхование. На данные виды страхования в 1 полугодии 2014 г. приходилось 26,2 % премий и 23,7 % выплат. В предыдущие годы наблюдалось превышение доли выплат по личному страхованию (кроме страхования жизни) над долей премий. Например, в 2013 г. доля премий, полученных по договорам личного страхования (кроме страхования жизни) в общем объеме собранных премий составила 23,1 %, а доля выплат – 24,5 %.

Самым распространенным видом страхования является страхование имущества (40,5 % премий и 47,8 % выплат в 1 полугодии 2014 г.). В структуре страхования имущества около 50 % приходится на страхование средств наземного транспорта (кроме средств железнодорожного транспорта).

Страхование гражданской ответственности и страхование предпринимательских и финансовых рисков представляют незначительный объем страхового рынка Российской Федерации. В 1 полугодии 2014 г. по данным видам страхования было собрано 3,4 и 2,2 % страховых премий и произведено 2,2 и 0,8 % выплат соответственно.

Самым проблемным сегментом в настоящее время является ОСАГО. В 2013 году страховщики получили убыток по данному виду страхования в 23 регионах страны. Распространение действия закона о защите прав потребителей и повышение лимитов ответственности повлекло за собой увеличение уровня убыточности (в связи с ростом уровня мошенничества и судебных расходов) и ограничение продаж со стороны страховщиков. Рост тарифов, связанный с увеличением лимитов ответственности, должен оказать влияние на уровень убыточности операций по данному виду страхования. Для стабилизации ситуации в сегменте ОСАГО необходимо повышение тарифов на 40–60 % и проведение коррекции региональных поправочных коэффициентов [8].

Рост уровня мошенничества среди убытков, урегулированных по Закону о защите прав потребителей, является актуальной тенденцией 2014 года. Многие страховые компании связывают рост убыточности автострахования именно с возрастающей долей мошенничества и ожидают вмешательства регулятора, направленного на ужесточение наказаний и создание реестра страховых мошенников [6].

Обязательное страхование кроме ОСАГО включает такие виды страхования, как обязательное государственное страхование жизни и здоровья военнослужащих, страхование ответственности перевозчиков, страхование ответственности предприятий – владельцев опасных объектов и др. [1]. Особого внимания заслуживает страхование гражданской ответственности предприятий – владельцев опасных объектов. В связи с изменением законодательства увеличились и продолжат расти поступления по данному виду страхования.

Таким образом, для страхового рынка Российской Федерации 2014 год станет проблемным и по объему собираемых премий, и по уровню рентабельности. Заметного увеличения рентабельности и ускорения роста страхового рынка не произойдет, темпы прироста взносов составят 10–10,5 % [2], причем рост отрасли будет поддерживаться за счет лидирующих игроков. Мерами по снижению убыточности могут быть: улучшение взаимодействия с партнерами (автосервисами, лечебно-профилактическими учреждениями и т.д.), рост тарифов по убыточным видам страхования, либо группам клиентов, совершенствование судебного процесса по урегулированию претензий, расширение использования франшизы, снижение уровня мошенничества, информационная консолидация страховщиков (например, обмен информацией по убыткам), развитие кросс-продаж (дополнительная продажа клиентам, приобретающим полис по убыточному виду страхования, полисов по прибыльным видам страхования).

Страховые компании должны сосредоточиться на улучшении качества портфеля,

а также сокращении расходов. Способами сокращения расходов могут быть, например, оптимизация бизнес-процессов и внедрение информационных технологий (в том числе развитие продаж через Интернет). Среди приоритетных сфер государственного регулирования и контроля на первый план выходят ценовая политика страховых компаний и достаточность капитала. Дальнейшее позитивное развитие рынка будет возможным при условии стимулирования страхования имущества граждан, стабилизации ситуации в автостраховании и развития страхования жизни.

Список литературы

1. Архипов А.П. Страхование. – М.: КНОРУС, 2012. – 288 с.

2. Будущее страхового рынка: временная передышка. Исследование «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://raexpert.ru/researches/insurance/bsr_2014.

3. Доклад о денежно-кредитной политике: Центральный банк Российской Федерации. – № 3(7). – Сентябрь 2014 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cbr.ru/publ/ddcp/2014_03_ddcp.pdf.

4. Единый государственный реестр субъектов страхового дела по состоянию на 30.06.2014 г. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.cbr.ru/sbrfr/?PrtId=insurance_industry.

5. Итоги 1 полугодия 2014 года на страховом рынке: стагнация вместо падения. Обзор «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://raexpert.ru/researches/insurance/insurance_1p2014/insurance_1p2014.pdf.

6. Новая реальность: обзор рынка страхования в России: Группа актуарных услуг КПМГ России и СНГ, июль 2014 г [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kpmg.com/RU/ru/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Insurance%20Survey%202014.pdf.

7. Пресс-релиз от 12 ноября 2014 г. «Продажи легковых и легковых коммерческих автомобилей в России в октябре 2014 года»: Ассоциация европейского бизнеса [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aebrus.ru/upload/iblock/210/rus_car-sales-in-october-2014.pdf.

8. Рынок ОСАГО в России. Исследование «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://raexpert.ru/researches/insurance/osago_2014.

9. Сайт Центрального банка Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cbr.ru/sbrfr/?PrtId=insurance_industry.

10. Страхование жизни в России: надежда на накопление. Исследование «Эксперт РА» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://raexpert.ru/researches/insurance/life_insurance_1p2014.

11. Шихов А.К. Страхование: Организация, экономика, правовые аспекты. – М.: КУРС; ИНФРА-М, 2012. – 368 с.

References

1. Arhipov A.P. Strahovanie. M.: KNORUS, 2012. 288 p.

2. Budushhee strahovogo rynka: vremennaja peredyshka. Issledovanie «Jekspert RA» [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://raexpert.ru/researches/insurance/bsr_2014.

3. Doklad o denezhno-kreditnoj politike: Central'nyj bank Rossijskoj Federacii. no. 3(7). Sentjabr' 2014 [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.cbr.ru/publ/ddcp/2014_03_ddcp.pdf.

4. Edinyj gosudarstvennyj reestr sub#ektov strahovogo dela po sostojaniju na 30.06.2014 g. [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: http://www.cbr.ru/sbrfr/?PrtId=insurance_industry.

5. Itogi 1 polugodija 2014 goda na strahovom rynke: stagnacija vmesto padenija. Obzor «Jekspert RA» [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://raexpert.ru/researches/insurance/insurance_1p2014/insurance_1p2014.pdf.

6. Novaja real'nost': obzor rynka strahovanija v Rossii: Gruppa aktuarnyh uslug KPMG Rossii i SNG, ijul' 2014 g [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.kpmg.com/RU/ru/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Insurance %20Survey %202014.pdf.

7. Press-reliz ot 12 nojabrja 2014 g. «Prodazhi legkovyh i legkovyh kommercheskih avtomobilej v Rossii v oktjabre 2014 goda»: Associacija evropejskogo biznesa [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.aebrus.ru/upload/iblock/210/rus_car-sales-in-october-2014.pdf.

8. Rynok OSAGO v Rossii. Issledovanie «Jekspert RA» [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://raexpert.ru/researches/insurance/osago_2014.

9. Sajt Central'nogo banka Rossijskoj Federacii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.cbr.ru/sbrfr/?PrtId=insurance_industry.

10. Strahovanie zhizni v Rossii: nadezhda na nakoplenie. Issledovanie «Jekspert RA» [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://raexpert.ru/researches/insurance/life_insurance_1p2014.

11. Shihov A.K. Strahovanie: Organizacija, jekonomika, pravovye aspekty. M.: KURS; INFRA-M, 2012. 368 p.

Рецензенты:

Агарков Г.А., д.э.н., и.о. зав. кафедрой государственных и муниципальных финансов Института «Высшая школа экономики и менеджмента», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Разумовская Е.А., д.э.н., профессор кафедры страхования Института «Высшая школа экономики и менеджмента», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 378.014.54

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ВУЗОВ В СИСТЕМЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Конова Т.А., Нестеров В.Л.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», Екатеринбург, e-mail: vnesterov@usurt.ru

Несмотря на увеличение бюджетных расходов на образование достаточно острой остается проблема качества подготовки специалистов. Система профессиональной подготовки кадров на современном этапе развития обладает всеми существенными признаками нематериального производства. Одними из значимых факторов процесса обучения являются образовательные технологии, состояние материально-технической базы и материально-техническое обеспечение учебных заведений. Вопрос, какой материально-технической базой (в нормативном аспекте) должен обладать вуз, чтобы обеспечить качественную подготовку своих выпускников, остается открытым как в теоретическом, так и в практическом планах. Эффективность использования материально-технической базы вуза можно оценить показателями с учетом специфики образовательного производства. Система показателей материально-технической базы и материально-технического обеспечения должна формироваться в зависимости от приоритетов стратегического развития вуза, направлений его деятельности и должна соответствовать показателям, применяемым при аттестации, лицензировании и аккредитации вузов, при использовании системы менеджмента качества.

Ключевые слова: финансирование образования, качество подготовки кадров, образовательное производство, показатели материально-технической базы, материально-технического обеспечения

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF USE OF MATERIAL-TECHNICAL BASE OF UNIVERSITIES IN THE SYSTEM OF INDICATORS OF THE QUALITY OF TRAINING

Konova T.A., Nesterov V.L.

Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, e-mail: vnesterov@usurt.ru

Despite the increase in public expenditure on education is rather acute problem is the quality of training. The system of professional training at the present stage of development has all the essential features of non-material production. One of the significant factors of the learning process are educational technology, the state of the material-technical base and logistical support to educational institutions. The question of what the material-technical base (normative aspect) should possess a University to provide quality training for their graduates, remains open both theoretical and practical plans.The efficiency of use of material-technical base of the University can be assessed by indicators taking into account the specifics of educational production. The system of indicators of material-technical base and logistical support should be formed depending on the strategic priorities of the University, its activities and must comply with the indicators used for certification, licensing and accreditation of higher education institutions, when using the quality management system.

Keywords: education, quality training, educational production, indicators of material and technical base, logistical support

Качество подготовки высококвалифицированных кадров, устойчивость функционирования вузов, развитие высшего образования зависят от многих факторов. Одним из основных является обеспечение своевременного финансирования расходов на вышеуказанные цели. Система высшего образования финансируется в основном из федерального бюджета. Величина бюджетных расходов на образование постоянно растет, но это не приводит к повышению эффективности подготовки специалистов в системе высшего профессионального образования (ВПО). Глава федерального Минобрнауки заявил о низком качестве высшего образования, несмотря на существенные вливания: в 2014 году из бюджета выделили более 470 млрд руб. (14 млрд долл.) – это в 20 раз больше, чем в 2000 году [5].

О снижении качества подготовки специалистов в РФ свидетельствуют результаты рейтинга лучших вузов мира. В журнале «Times Higher Education» опубликован сводный рейтинг 400 вузов мира за 2014 год. Согласно этому рейтингу, еще недавно входивший в число 50 лучших вузов мира Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова занимает 196 место, Новосибирский государственный университет занимает место в группе, находящейся на позициях с 301 по 350 [7]. В исследовании, проведенном британской компанией Quacquarelli Symonds в 2014 году, участвовали более 700 вузов мира, среди которых 21 российский. В топ-200 вошел только один российский вуз: МГУ занимает 114 место [6]. Немаловажную роль для попадания в рейтинг лучших вузов мира играет

материально-техническая база образовательных учреждений.

Система профессиональной подготовки кадров на современном этапе развития обладает всеми существенными признаками нематериального производства:

– к средствам труда в учебных заведениях относятся здания, сооружения, транспортные средства, средства связи, лабораторное оборудование, приспособления, инструменты (материально-техническая база), образовательные и научные технологии;

– труд преподавателей и сотрудников направлен на организацию и осуществление образовательного процесса, на научно-методическое и информационное обеспечение, на проведение научных исследований, на материально-техническое и административно-хозяйственное обеспечение и финансово-экономическое сопровождение учебной и научной деятельности, что и является предметом их труда;

– основное управляющее воздействие прикладывается к абитуриентам, студентам, слушателям, аспирантам и докторантам, являющимися объектом труда работников и в процессе своей деятельности активно использующим материально-техническую базу учебных заведений;

– субъектом труда в учебных заведениях, носителем деятельности, источником познания и активности объекта является профессорско-преподавательский состав, который в процессе ведения образовательной и научной работы опирается на созданную базу, совершенствует и развивает её.

Одними из значимых факторов процесса обучения являются образовательные технологии, состояние материально-технической базы (МТБ) и материально-техническое обеспечение (МТО) учебных заведений (рис. 1). Для эффективного оказания образовательной услуги вуз должен обладать необходимой материально-технической базой, отвечающей современному уровню развития производительных сил [2]. МТО вуза должно учитывать развитие научно-технического прогресса, возможность опережающей подготовки кадров [1].

В подготовке квалифицированных кадров отсутствие современной технологической базы (оборудования, применяемого на конкретных рабочих местах, невозможность организации полноценной производственной практики на предприятиях) может стать одним из основных моментов, делающих российское образование неконкурентоспособным с подготовкой в других странах. У выпускников нет практики, навыков, они оказываются неспособными к работе с современными материалами и оборудованием [3]. Увеличение контингента студентов без наращивания и обновления основных фондов, которыми располагают высшие учебные заведения, может привести к снижению качества образования. МТБ и МТО вузов приобретают еще большее значение в условиях инновационного образовательного производства.

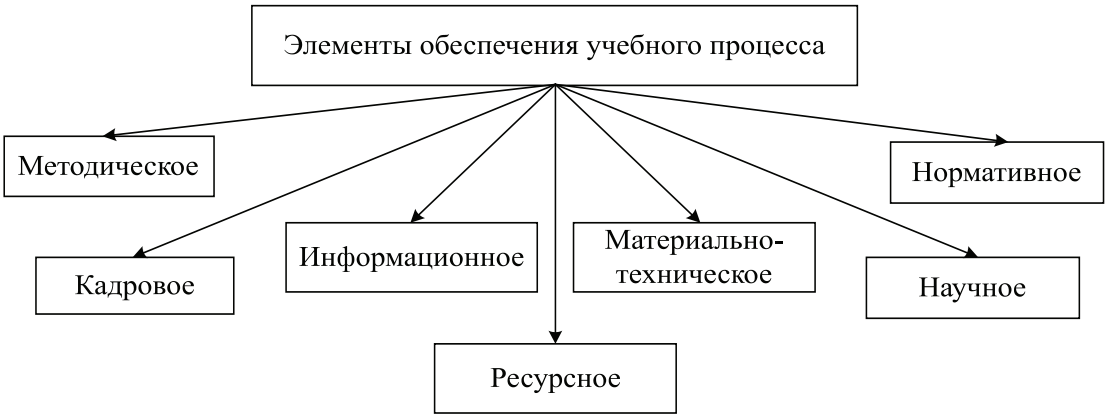


Рис. 1. Элементы обеспечения учебного процесса

Обосновав профессиональное образование как систему образовательного производства, можно исследовать с этих позиций характеристики средств, предмета, субъекта и объекта труда; определить их влияние на качество функционирования и устойчивость системы профессионального образования. Эффективность функционирования образовательного учреждения возможно оценить через развитие МТБ и МТО. Для оценки эффективности деятельности вуза можно использовать систему показателей, при-

меняемую на предприятиях в других отраслях хозяйства: показатели использования основных фондов, характеризующие их использование по времени (например, коэффициент экстенсивного использования), по мощности (коэффициент интенсивного использования), интегральные показатели. Так как подготовка специалистов должна учитывать опережающее развитие системы ВПО, то целесообразно применять показатели воспроизводства основных фондов, такие как коэффициент обновления, коэффициент выбытия. Необходимо разработать систему показателей использования МТБ вузов, учитывая специфику образовательного производства.

Результативность выделяемых средств должна заключаться как в повышении качества образования, так и в достижении эффектов в экономической, социальной и научной сферах. Повышение качества образования можно оценить по показателям, применяемым при аттестации, лицензировании и аккредитации вузов, при использовании системы менеджмента качества.

Для формирования показателей необходимо выделить основные приоритеты стратегического развития вуза, такие как высокое качество образовательного, научного и обеспечивающих процессов; интеграция образовательной и научной деятельности по перспективным направлениям на основе углубления знаний и сохранения традиций университета; развитие непрерывного образования с широким использованием дистанционных форм обучения [4].

Установлены направления деятельности университета: образовательная и воспитательная деятельность; научно-исследовательская деятельность; стратегическое партнерство; управление персоналом (кадры); управление ресурсами; инновационная активность; партнерство с заказчиками; хозяйственное направление.

Для каждого приоритета развития вуза и направления его деятельности можно выделить показатели, соответствующие МТБ и МТО (рис. 2). Базисные показатели – это критерии самого верхнего уровня. Базисные показатели обозначают перспективу развития МТБ и МТО учебного заведения. Например, показатели, характеризующие обеспечение образовательной деятельности оснащенными зданиями, строениями, сооружениями, территориями, помещениями для медицинского обслуживания и питания, оборудованными учебными кабинетами, объектами для проведения практических занятий, объектами физической культуры и спорта. Индикативные показатели предназначены для осуществления оперативного контроля конкретных направлений деятельности (фондооснащенность, фондовооруженность, фондоотдача).

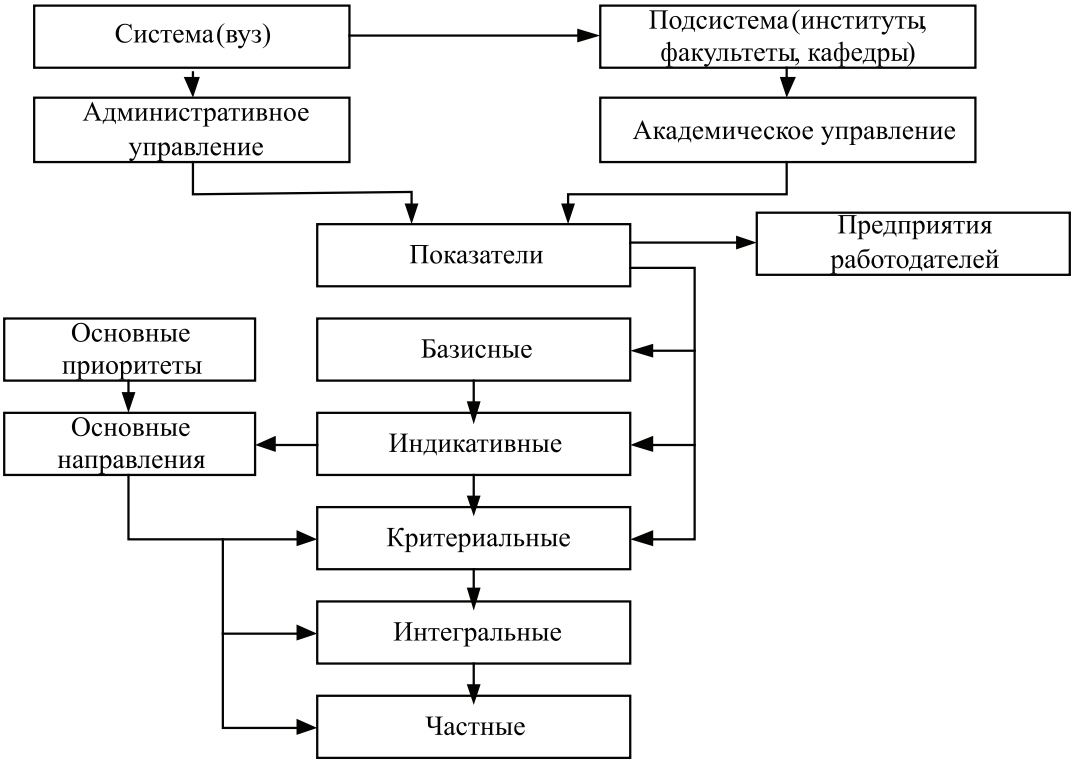


Рис. 2. Последовательность формирования показателей качества подготовки специалистов

Общий уровень эффективности функционирования системы профессионального образования, характеризуемый критериальным показателем, будет формироваться под влиянием результативности решения как отдельных, так и всей совокупности задач высшей школы.

Первая задача функционирования исследуемой системы заключается в подготовке специалистов в количестве, необходимом обществу, обеспечении его прироста в соответствии с динамикой возникающих потребностей, объем которых определяется емкостью рынка труда этой категории специалистов. От количества студентов зависят объемные показатели использования МТБ (количество площадей аудиторий, лабораторий, стендов, персональных компьютеров, библиотечный фонд).

Вторая важнейшая задача системы профессионального образования состоит в подготовке высококвалифицированных специалистов, в полной мере соответствующих требованиям их потребителей (производственная сфера, наука, образование, культура). Формируется качество под воздействием таких факторов, как наличие разработанных учебных планов, уровень организации учебного процесса, его материально-техническое обеспечение. Решение второй задачи влияет на необходимость своевременного пополнения материально-технической базы необходимым оборудованием, соответствующим развитию науки и производства.

Третья задача, имеющая огромное социальное значение, заключается в обеспечении сохранения и укрепления физического здоровья будущих специалистов. Успешное решение этой задачи может быть достигнуто при условии наличия развитой инфраструктуры учебных заведений, которая должна обеспечивать квалифицированное медицинское обслуживание, соответствующее питание, досуг и отдых студентов, их физическое воспитание. Для решения третьей задачи также необходима соответствующая материально-техническая база: актовые залы, спортивный инвентарь, художественная библиотека, медицинские пункты. Есть и другие задачи, которые необходимо решить для достижения целей эффективного функционирования системы ВПО.

Таким образом, в самом общем виде модель расчета критериального показателя, оценивающего уровень социально-экономической эффективности функционирования всей системы профессионального образования, будет выглядеть следующим образом:

$$K_{\text{кр}} = \sqrt[5]{K_1^{\alpha_1} \cdot K_2^{\alpha_2} \cdot ...; K_i^{\alpha_i}},$$

где α_i – коэффициенты значимости, оценивающие роль и значение каждой i-й задачи в достижении главной цели деятельности системы профессионального образования; $K_1, K_2, \ldots, K_i$ – интегральные показатели выполнения задач системы.

Эффективность решения каждой задачи характеризуется конкретным интегральным показателем, который формируется под влиянием всего комплекса определяющих его значение факторов, представленных как частные показатели.

Необходима оценка качества образования в вузе, которая должна характеризовать текущий уровень подготовки, выявлять проблемные точки для принятия решения в области дальнейшего планирования деятельности с целью ее совершенствования. Качество образования в вузе должно характеризоваться показателями эффективности функционирования системы подготовки специалистов, напрямую связанными с целями системы, отражающими изменение основных параметров ее подсистем. Показатели качества должны быть достаточно простыми, чтобы их удобно было вычислять и анализировать, учитывать условия взаимодействия с внешней средой. Показатели эффективности определяются процессом функционирования системы [4]. Рассматривая функциональные области деятельности учебного заведения, можно выделить те обеспечивающие процессы, в основе которых лежит МТО.

Большое количество практически применяемых в настоящее время показателей не систематизированы, не согласованы с особенностями современного этапа развития образования, не определено их численное значение, не оценено влияние показателей эффективности вуза на уровень работы предприятий работодателей. Показатели качества работы вузов необходимо разрабатывать с учетом характерных особенностей сегодняшнего этапа развития образования.

Минобрнауки определило критерии мониторинга для всей системы российского образования, среди них показатели, определяющие материально-техническое и информационное обеспечение образовательных организаций, в том числе:

– обеспеченность студентов общежитиями (удельный вес студентов, проживающих в общежитиях, в общей численности студентов, нуждающихся в общежитиях);

– обеспеченность студентов сетью общественного питания;

– число персональных компьютеров, используемых в учебных целях, в расчете на 100 студентов;

– удельный вес числа организаций, подключенных к Интернету со скоростью передачи данных 2 Мбит/с и выше, в общем числе образовательных организаций, подключенных к Интернету;

– площадь учебно-лабораторных зданий в расчете на одного студента [4].

Изложены лишь принципы материально-технического обеспечения в учебных учреждениях. В дальнейшем предполагается определить конкретные показатели и их значения.

Список литературы

1. Конова Т.А., Антропов В.А. Организация материально-технического обеспечения образовательных учреждений высшего профессионального образования // Вестник УРФУ, серия Экономика и управление. – 2011. – № 6. – С. 162–173.

2. Конова Т.А., Нестеров В.Л. Оценка экономической эффективности инвестиций в инновационные образовательные программы вузов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (часть 4). – С. 990–994.

3. Модернизация российского образования: ресурсный потенциал и подготовка кадров / под ред. Т.Л. Клячко. – М.: ГУ-ВШЭ, 2002. – 182 с.

4. Нестеров В.Л. Формирование показателей качества подготовки специалистов в вузе // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 4 (20). – С. 41–48.

5. Официальные периодические издания: РИАНОВОСТИ. URL: http://ria.ru/education/20140710/1015459678.html (дата обращения 14.09.14).

6. Официальные периодические издания: РИАНОВОСТИ. URL: http://ria.ru/society/20140916/1024253804.html (дата обращения 05.10.14).

7. Рейтинг лучших университетов мира по версии Times Higher Education. Гуманитарная энциклопедия [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. – 2012.03.16 (последняя редакция: 2014.10.02). URL: http://gtmarket.ru/ratings/the-world-university-rankings/info (дата обращения 05.10.14).

8. Сенашенко В.С., Жалнина Н.В. Качество высшего образования и система зачетных единиц // Высшее образование в России. – 2004. – № 5. – С. 14–18.

References

1. Konova T.A., Antropov V.A. Organizacija material'no-tehnicheskogo obespechenija obrazovatel'nyh uchrezhdenij vysshego professional'nogo obrazovanija // Vestnik URFU, serija Jekonomika i upravlenie. 2011. no. 6. pp. 162–173.

2. Konova T.A., Nesterov V.L. Ocenka jekonomicheskoj jeffektivnosti investicij v innovacionnye obrazovatel'nye programmy vuzov // Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 11 (chast' 4). pp. 990–994.

3. Modernizacija rossijskogo obrazovanija: resursnyj potencial i podgotovka kadrov / pod red. T.L. Kljachko. M.: GU-VShJe, 2002. 182 p.

4. Nesterov V.L. Formirovanie pokazatelej kachestva podgotovki specialistov v vuze // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2013. no. 4 (20). pp. 41–48.

5. Oficial'nye periodicheskie izdanija: RIANOVOSTI. URL: http://ria.ru/education/20140710/1015459678.html (data obrashhenija 14.09.14).

6. Oficial'nye periodicheskie izdanija: RIANOVOSTI. URL: http://ria.ru/society/20140916/1024253804.html (data obrashhenija 05.10.14).

7. Rejting luchshih universitetov mira po versii Times Higher Education. Gumanitarnaja jenciklopedija [Jelektronnyj resurs] // Centr gumanitarnyh tehnologij. 2012.03.16 (poslednjaja redakcija: 2014.10.02). URL: http://gtmarket.ru/ratings/the-world-university-rankings/info (data obrashhenija 05.10.14).

8. Senashenko V.S., Zhalnina N.V. Kachestvo vysshego obrazovanija i sistema zachetnyh edinic // Vysshee obrazovanie v Rossii. 2004. no. 5. pp. 14–18.

Рецензенты:

Сергеев Б.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург;

Сай В.М., д.т.н., профессор кафедры, главный редактор и научный редактор журнала «Вестник УрГУПС», ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 330.46

УЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ОТ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СУЖДЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

[1]Ломазов В.А., [2]Нестерова Е.В., [1]Петросов Д.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина», Белгород, e-mail: info@bsaa.edu.ru;

[2]ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail:info@bsu.edu.ru

Работа посвящена применению методологии экспертных технологий при оценивании и выборе для последующей реализации инновационно-инвестиционных проектов в области регионального здравоохранения. В рамках исследования выделены политические, экономические, социальные, технологические и научно-инновационные аспекты при оценивании проектов. Значения показателей преобразованы соотнесением к единой безразмерной измерительной шкале. При оценивании проекта предложено использовать иерархическую многоуровневую систему критериев, отражающую относительную значимость показателей проекта для отдельных аспектов. Разработана процедура поддержки принятия решений при выборе проектов, состоящая в сокращении области выбора, после чего окончательный выбор производится лицом, принимающим решение. В рамках процедуры предложено учитывать возможные изменения экспертных суждений относительно значений показателей и относительных значимостей оценочных критериев. Учет чувствительности от изменений экспертных суждений производится на основе имитационного вычислительного эксперимента. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы многокритериального оценивания и выбора инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения свидетельствуют о его эффективности.

Ключевые слова: здравоохранение, инновационно-инвестиционный проект, экспертные технологии, чувствительность

SENSITIVITY ACCOUNTING CHANGES OF MULTICRITERIA ESTIMATION FROM EXPERT JUDGMENT IN SELECTION OF INNOVATION AND INVESTMENT REGIONAL PROJECTS IN HEALTHCARE

[1]Lomazov V.A., [2]Nesterova E.V., [1]Petrosov D.A.

[1]Belgorod State Agricultural Academy by V.Y. Gorin, Belgorod, e-mail: info@bsaa.edu.ru;

[2]Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: info@bsu.edu.ru

The work is devoted to the application of the methodology of the expert techniques in estimation and selection to follow the implementation of innovation and investment projects in the field of regional healthcare. The study highlighted the political, economic, social, technological, scientific and innovative aspects in estimating projects. Values of indicators are converted by relating to a unified dimensionless measurement scale. In estimating the the project is proposed to use a hierarchical multi-level system of criteria reflecting the relative importance of the indicators for the aspects of the project. Developed a procedure for decision support in the selection of projects, consisting in the reduction of the area of choice, followed by a final selection is made by the decision maker. Within the framework of the procedure it is proposed to account possible changes of expert judgment on the values of indicators and the relative importance of evaluation criteria. Sensitivity to changes in accounting expert judgments made on the basis of simulation computational experiment. Preliminary results of the proposed approach in the framework of a research prototype of information analysis system of multi-criteria estimation and selection of innovation and investment projects in healthcare testify to its effectiveness.

Keywords: healthcare, innovation and investment projects, expert technology, sensitivity

Социально-экономическое развитие регионов является одной из приоритетных задач государственной социальной политики Российской Федерации. Проблема оценки социально-экономических проектов, представляющих собой важные инструменты регионального развития, является актуальной не только на начальном этапе выбора наиболее эффективных проектов, но и на последующих этапах корректировки ранее принятых решений на основе мониторинга хода реализации проектов [1, 4, 12, 13]. Особой практической значимостью обладают региональные проекты в сфере здравоохранения, поскольку они непосредственно связаны с повышением качества и улучшением функционирования человеческого капитала (human capital), являющегося интенсивным производительным фактором экономического развития региона [11].

В настоящее время социальные инвестиции в сфере медицины и здравоохранения, как правило, сочетаются с инновационным характером проектов, что существенно усложняет их экспертизу и делает актуальным научное обоснование оценок проектов [5, 6, 8]. Спецификой оценивания и выбора инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения является необходимость учета большого числа показателей (и взаимосвязей между ними), многие из которых носят не количественный, а качественный характер, что обуславливает применение современных экспертных технологий, основанных на использовании методов теории принятия решений и имитационного моделирования [3]. При этом необходимо учитывать возможные изменения экспертных суждений относительно оцениваемого проекта, вызванные как объективными (изменения в области применения проекта), так и субъективными (изменения представлений об области применения) факторами.

При исследовании инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения целесообразно несколько изменить типовой состав рассматриваемых целей:

– заменить общую для всех инвестиционных проектов технологическую составляющую ее конкретизацией для рассматриваемой области – медицинской (*Med*) составляющей;

– дополнить состав рассматриваемых целей включением научно-инновационной (Innov) составляющей.

При построении оценочных критериев, соответствующих целям проекта, целесообразно разделять эффективность проекта при его реализации (*Ef*) и потери при возможном (с некоторой вероятностью) ненадлежащем выполнении проекта (*Risk*). Например, в соответствии с построенной иерархией критериев (рис. 1) критерий *CritEconRisk* отражает экономические (*Econ*) риски (*Risk*) при реализации проекта.

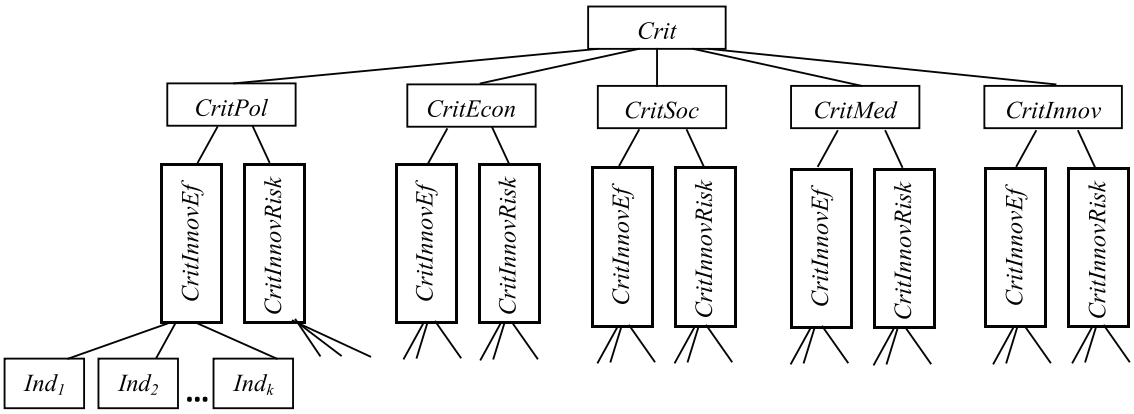


Рис. 1. Иерархия критериев инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения

Цель настоящей работы состоит в создании инструментария поддержки многокритериального экспертного оценивания и выбора инновационно-инвестиционных проектов в сфере здравоохранения с учетом возможных изменений экспертных суждений.

Информационное моделирование и многокритериальное экспертное оценивание проектов

Многообразие целей, характерное для социально-экономических проектов, порождает многокритериальность при их оценивании. В настоящее время для построения комплексных оценок проектов широко используется PEST-анализ [12], позволяющий выделить политические (*Pol*), экономические (*Econ*), социальные (*Soc*) и технологические цели (составляющие) проекта.

Нижний уровень иерархии соответствует показателям (индикаторам), значения которых представлены в конкурсной документации проектов (в заявках и экспертных заключениях). Значения индикаторов, которые могут носить и количественный (например, число специалистов, привлекаемых к реализации проекта), и качественный (например, уровень научной обоснованности используемых в проекте инновационных решений) характер, целесообразно преобразовать приведением к единой измерительной балльной шкале (от 0 до *N* баллов). Для количественных (числовых) индикаторов таким преобразованием может быть отнесение рассматриваемого значения к тому или иному подинтервалу (с заданным балльным значением) неравномерного разбиения интервала

возможных числовых значений индикатора. Для качественных (лингвистических) значений преобразование может быть основано на применении смещенной шкалы (семантического дифференциала) Осгуда, где минимально допустимому значению (например, удовлетворительно) соответствует 0, а максимально возможному значению (например, отлично) – N баллов. Построение неравномерной шкалы для количественных показателей и лингвистическое оценивание качественных показателей производится экспертами.

В соответствии с методологией анализа иерархий Саати (analytic hierarchy process) [7, 14] значения оценочных критериев каждого уровня (кроме критериев уровня индикаторов) определяются в виде линейной свертки критериев предыдущего уровня. Весовые коэффициенты свертки, отражающие относительную значимость критериев предыдущего уровня, вычисляются методом ранжирования или методом парных сравнений на основании экспертных суждений.

Изменения экспертных суждений при оценивании проектов

Назовем изменение экспертных суждений относительно проекта элементарным, если оно не может быть разбито на несколько других изменений и любое изменение экспертных суждений представлено в виде последовательного применения нескольких элементарных изменений. Нетрудно видеть, что элементарным положительным (отрицательным) изменением экспертных суждений относительно балльных значений индикаторов будет увеличение (уменьшение) значения одного из индикаторов на один балл. При этом будем считать что, если начальное значение индикатора было равно N (равно 0), то положительное (отрицательное) изменение экспертных суждений не приведет к изменению значения этого индикатора.

Для определения элементарных изменений экспертных суждений (ЭИЭС) относительно значимости критериев рассмотрим (в соответствии с [2]) подход, основанный на методе ранжирования. Рассмотрим групповое упорядочение критериев по возрастанию их рангов (в одну группу входят критерии с одинаковым рангом): $G_1, G_2, \ldots, G_t$. Группы G_j являются непустыми, хотя некоторые из них, возможно, состоят только из одного элемента. Под элементарным изменением экспертных суждений в рамках метода ранжирования будем понимать переход некоторого критерия f_k из одной группы G_j в другую соседнюю группу G_{j-1} или G_{j+1}. Пусть начальная ранжировка критериев составляет: $r_1^0, r_2^0, \ldots, r_n^0$. Минимальное изменение оценки значимости критерия f_k в большую (меньшую сторону) приводит к новой ранжировке $r_1, r_2, \ldots, r_n$, вид которой зависит от значения r_k^0 и начальной ранжировки в целом. Пусть в рамках начальной ранжировки критерий f_k входил в группу из s других критериев $\{f_{k-1}, f_{k-2}, \ldots, f_{k-s}\}$, имеющих с ним одинаковое значение ранга r_k^0, а минимальное (элементарное) увеличение ранга этого критерия приводит к его переходу в следующую по значимости группу $\{f_{k+1}, f_{k+2}, \ldots, f_{k+t}\}$, содержащую t критериев одинакового ранга r_p^0. Причем в соответствии с правилом вычисления рангов

$$r_k^0 = \frac{(k-s)+(k-s+1)+\ldots+k}{s+1} = \frac{2k-s}{2};$$

$$r_{k+1}^0 = \frac{(k+1)+\ldots+(k+p)}{p} = \frac{2k+p+1}{2}.$$

Переход критерия в следующую группу приводит к новым значениям рангов:

$$r_{k-1} = \frac{(k-s)+(k-s+1)+\ldots+(k-1)}{s+1} = \frac{2k-s-1}{2};$$

$$r_k = \frac{k+(k+1)+\ldots+(k+p)}{p} = \frac{2k+p}{2}.$$

Таким образом, в результате минимального увеличения значимости критерия f_k:

– ранги критериев первой и второй групп уменьшатся на 0,5;

– ранг критерия f_k увеличится на величину $(p + s)/2$;

– ранги остальных критериев не изменятся.

Переход критерия f_k в предыдущую по значимости группу критериев приведет к соответствующему увеличению рангов критериев первой и второй групп на величину 0,5 и уменьшению на $(p + s)/2$ ранга критерия f_k (ранги остальных критериев не изменятся).

Изменение рангов критериев приведет к изменению их весовых коэффициентов, вычисляемых по формуле

$$a_i = 2(n + 1 - r_i)/(n^2 + n) \text{ [9].}$$

Процедура выбора проектов с учетом возможных изменений экспертных суждений при их оценивании

Выбор подлежащего, реализации инновационно-инвестиционного проекта производится лицом, принимающим решение, на основе своих неформализуемых предпочтений (интуиции, опыте). Процедура поддержки принятия управленческих решений сводится к сокращению множества всех вариантов решений до множества окончательного выбора (рис. 2).

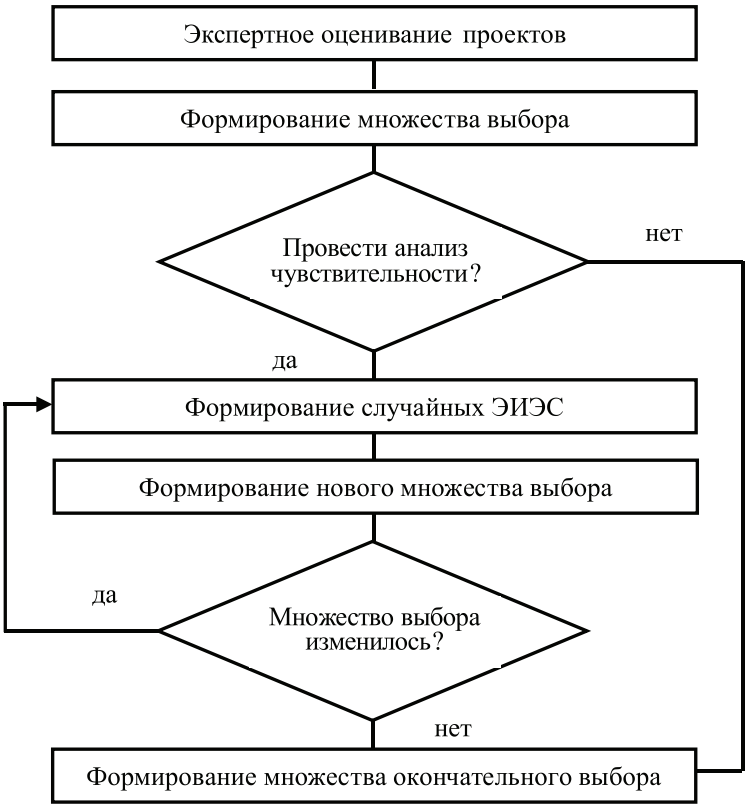


Рис. 2. Схема процедуры формирования множества окончательного выбора инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения

При этом учет чувствительности от изменений экспертных суждений производится на основе имитационного вычислительного эксперимента, в рамках которого:

– на основе имеющихся экспертных оценок строится первичное множество выбора (множество проектов с наилучшими интегральными оценками),

– выполняется случайная генерация элементарных изменений экспертных суждений (ЭИЭС);

– для измененных экспертных суждений строится новое множество и объединяется с предыдущим множеством выбора.

Процедура прекращает свою работу при достижении заданного числа итераций или при отсутствии изменений в множестве выбора после очередной итерации, после чего множество выбора объявляется окончательным.

Заключение

Предложенный в работе подход к поддержке принятия решений по выбору инновационно-инвестиционных проектов позволяет учесть возможные изменения экспертных оценок, что способствует повышению обоснованности управленческих решений в области здравоохранения. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы многокритериального оценивания инвестиционных инновационных проектов в здравоохранении свидетельствуют о его эффективности.

Список литературы

1. Акупиян О.С., Ломазов В.А., Петросов Д.А. Модели и методы мониторинга реализации региональных социально-экономических проектов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 270–270.

2. Дмитриев М.Г., Ломазов В.А. Оценка чувствительности линейной свертки частных критериев при экспертном определении весовых коэффициентов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 1. – С. 52–56.

3. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: Дело, 2004. – 400 с.

4. Ломазов В.А., Ломазова В.И., Нехотина В.С. Информационные модели и методы многокритериальной оценки региональных социально-экономических проектов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – Т. 25. – № 1–1. – С. 112–116.

5. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 4. – С. 145–149.

6. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки социальных инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Современные исследования

социальных проблем (электронный научный журнал). – 2013. – № 8 (28). – С. 48.

7. Ломазов В.А., Прокушев Я.Е. Решение задачи экономичного многокритериального выбора на основе метода анализа иерархий // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2010. – Т. 7. – № 14–1–1. – С. 128–131.

8. Нестерова Е.В. Автоматизация многокритериальной оценки инновационных проектов в сфере здравоохранения // Сетевое научное издание «Информационные ресурсы, системы и технологии». URL: http://irsit.ru/article305 (дата обращения: 25.12.2014).

9. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. – 400 с.

10. Пятакович Ф.А., Ломазова В.И., Макконен К.Ф., Нестеров В.Г., Нестерова Е.В., Якунченко Т.И. Многокритериальный стейкхолдер-анализ инвестиционных инновационных проектов в сфере регионального здравоохранения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–6. – С. 1326–1330.

11. Шульгина Л.В., Якимчук С.В., Шульгин А.В. Человеческий капитал как экономическая категория: региональный аспект // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2014. – № 5. – С. 5–10.

12. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide // Global Standart. Project Management Institute, USA. – 2008. – 496 p.

13. Lomazov V.A., Nehotina V.S. An assessment of regional socio-economic projects // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 3. – С. 190–193.

14. Saaty T.L. The analytic hierarchy process. – New York: McGraw Hill, 1980. – 287 p.

References

1. Akupijan O.S., Lomazov V.A., Petrosov D.A. Modeli i metody monitoringa realizacii regional'nyh social'no-jekonomicheskih proektov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija.- 2012. no. 3. pp. 270–270.

2. Dmitriyev M.G., Lomazov V.A. Otsenka chuvstvitel'nosti lineynoy svertki chastnykh kriteriyev pri ekspertnom opredelenii vesovykh koeffitsiyentov //Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy. 2014. no. 1. pp. 52–56.

3. Litvak B.G. Jekspertnye tehnologii v upravlenii. M.: Delo, 2004. 400 p.

4. Lomazov V.A., Lomazova V.I., Nehotina V.S. Informacionnye modeli i metody mnogokriterial'noj ocenki regional'nyh social'no-jekonomicheskih proektov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2013. T. 25. no. 1–1. pp. 112–116.

5. Lomazov V.A., Nesterova E.V. Kriterii ocenki investicionnyh innovacionnyh proektov v sfere zdravoohranenija // Jekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. 2013. no. 4. pp. 145–149.

6. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V. Kriterii otsenki sotsial'nykh investitsionnykh innovatsionnykh proyektov v sfere zdravookhraneniya // Sovremennyye issledovaniya sotsial'nykh problem (elektronnyy nauchnyy zhurnal). 2013. no. 8 (28). pp. 48.

7. Lomazov V.A., Prokushev Ja.E. Reshenie zadachi jekonomichnogo mnogokriterial'nogo vybora na osnove metoda analiza ierarhij // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2010. T. 7. no. 14–1–1. pp. 128–131.

8. Nesterova E.V. Avtomatizacija mnogokriterial'noj ocenki innovacionnyh proektov v sfere zdravoohranenija // Setevoe nauchnoe izdanie «Informacionnye resursy, sistemy i tehnologii». URL: http://irsit.ru/article305 (data obrashhenija: 25.12.2014).

9. Petrovskiy A.B. Teoriya prinyatiya resheniy. M.: Akademiya, 2009. 400 p.

10. Pyatakovich F.A., Lomazova V.I., Makkonen K.F., Nesterov V.G., Nesterova Ye.V., Yakunchenko T.I. Mnogokriterialnyy steykkholder-analiz investitsionnykh innovatsionnykh proyektov v sfere regional'nogo zdravookhraneniya// Fundamental'nyye issledovaniya. 2014. no. 9–6. pp. 1326–1330.

11. Shul'gina L.V., Yakimchuk S.V., Shul'gin A.V. Chelovecheskiy kapital kak ekonomicheskaya kategoriya: regional'nyy aspekt // FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya. 2014. no. 5. pp. 5–10.

12. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide / Global Standart. Project Management Institute, USA. 2008. 496 p.

13. Lomazov V.A., Nehotina V.S. An assessment of regional socio-economic projects // Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. 2013. no. 3. pp. 190–193.

14. Saaty T.L. The analytic hierarchy process. New York: McGraw Hill, 1980. 287 p.

Рецензенты:

Дюкарев Ю.М., д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры математики и физики, ФГБОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина», г. Белгород;

Калугин В.А., д.э.н., доцент, профессор кафедры экономики, Институт экономики, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 332.14

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

[1]Нагоев А.Б., [2]Филимонова Н.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова», Нальчик, e-mail: A_Nagoev@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств», Москва

В статье обосновывается положение, что прогнозирование должно рассматриваться как необходимый элемент системы управления предприятием, основная задача которого определяется упреждающей ориентацией управления на возможные изменения состояния и развития объектов управления и внешней среды их функционирования в будущем. Прогнозирование отрасли позволяет определить основные направления ее развития с выделением основных аспектов деятельности: развитие технической базы производства, организационно-технический уровень производства, потребность в продукции и степень ее удовлетворения, потребность в ресурсах, изменение структуры, темпов, объемов производства. Важнейшим принципом прогнозирования развития отрасли является принцип системности, позволяющий рассматривать отрасль как составную часть общественного производства, его подсистему. Развитие рыночной экономики в России требует от предприятий повышения эффективности стратегического планирования, что позволит улучшить их конкурентоспособность в условиях динамично меняющейся внешней среды. Решение данной проблемы невозможно без осуществления прогнозирования тенденций развития промышленного предприятия и их учета в практике управления хозяйствующим образованием. Развитие промышленности на современном этапе особенно нуждается в совершенствовании прогнозирования и планирования. Это связано, в первую очередь, с проявлением планетарного масштаба кризисом в экономике, экологии, социальной сфере и других сферах жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: промышленность, прогнозирование, стратегическое планирование, производство

FORECASTING AND PLANNING AS ELEMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Nagoev A.B., Filimonova N.V.

FGBOU VPO «Kabardino-Balkarian state university to them H.M. Berbekova», Nalchik, e-mail: A_Nagoev@mail.ru;

FGBOU VPO «Moscow State University of food productions», Moscow

Situation locates in article that forecasting has to be considered as a necessary element of an enterprise management system which main objective is defined by anticipatory orientation of management to possible changes of a state and development of objects of management and environment of their functioning in the future. Forecasting of branch allows to define the main directions of its development with allocation of the main aspects of activity: development of technical base of production, production organizational technological level, need for production and degree of its satisfaction, need for resources, change of structure, rates, outputs. The most important principle of forecasting of development of branch is the principle of systemacity allowing to consider branch as a component of a social production, its subsystem. Development of market economy in Russia demands from the enterprises of increase of efficiency of strategic planning that will allow to improve their competitiveness in the conditions of dynamically changing environment. The solution of this problem is impossible without implementation of forecasting of tendencies of development of the industrial enterprise and their account in practice of management of the managing education. Development of the industry at the present stage especially needs improvement of forecasting and planning. It is connected, first of all, with manifestation of planetary scale crisis in economy, ecology, the social sphere and other spheres of activity of the person.

Keywords: industry, forecasting, strategic planning, production

Термин «прогноз» означает предвидение, предсказание. Прогнозирование – это процесс составления прогноза развития тех или иных событий. Практика и теория прогнозирования накопила значительное число различного вида прогнозов. Прогнозы, составленные по способу описания изучаемого объекта, делятся на два вида: трендовый подход в прогнозировании предполагает экстраполяцию динамичного ряда, предварительно выравненного; прогнозные показатели определяются в результате линейной экстраполяции сложившихся в прошлом тенденций; факторный подход в прогнозировании предполагает предварительное выявление влияющих факторов на прогнозируемый показатель, их количественную оценку и построение экономико-математических моделей методом корреляции.

Прогнозы, составленные по способу формирования параметров процесса управления, делятся на два вида: ресурсный подход, предполагающий определение устойчивых тенденций и перенесение их

на будущее, и нормативный подход, заключающийся в умении специалиста по управлению находить количественные измерители величин, характеризующих поставленные цели: достичь такой-то величины, величины не менее чем, в пределах и т.д.

Прогнозы, определяемые сроками, можно представить в виде трех групп [1]:

– краткосрочные, определяемые на срок до одного года и менее; предметом прогнозирования могут быть показатели, имеющие тенденцию изменяться непрерывно, иногда даже в пределах суток и часа (курс валют);

– среднесрочные прогнозы, составляемые на срок до 3–5 лет; для их составления требуются данные маркетинговых исследований, результаты стратегических расчетов;

– долгосрочные прогнозы, определяемые на срок более пяти лет, касаются глубинных изменений в структуре общества, в экономике и политике государства, региона, города; такие прогнозы складываются медленно, по мере накопления информации и служат основой разработки концепций, например в сфере образования; для данного вида прогнозов нельзя применять линейную экстраполяцию, ибо за десятилетия происходят резкие переломы сложившихся в прошлом тенденций, усиливается хаотичность и неопределенность.

Прогнозирование и планирование занимают особое место в системе государственного регулирования промышленности. Прогнозирование отрасли позволяет определить основные направления ее развития с выделением основных аспектов деятельности: развитие технической базы производства, организационно-технический уровень производства, потребность в продукции и степень ее удовлетворения, потребность в ресурсах, изменение структуры, темпов, объемов производства. Все перечисленные аспекты тесно связаны между собой и формируют структуру отраслевого прогноза.

Прогнозирование должно рассматриваться как необходимый элемент системы управления предприятием, основная задача которого определяется упреждающей ориентацией управления на возможные изменения состояния и развития объектов управления и внешней среды их функционирования в будущем. Предвидение и оценка результатов всегда свойственны управленческой деятельности, поэтому любое управленческое решение в той или иной мере обязательно включает прогноз. Вследствие возрастания сложности отдельных социально-экономических систем и условий их функционирования и развития, степени их взаимодействия и взаимовлияния возникает объективное противоречие между потребностями управления в оперативной прогнозной информации и возможностями управляющей системы [2].

Важнейшим принципом прогнозирования развития отрасли является принцип системности, позволяющий рассматривать отрасль как составную часть общественного производства, его подсистему. В качестве основных факторов, определяющих отрасль как подсистему, выступают, с одной стороны, потребность в продукции отрасли, с другой – потребность самой отрасли в необходимых ресурсах.

Развитие рыночной экономики в России требует от предприятий повышения эффективности стратегического планирования, что позволит улучшить их конкурентоспособность в условиях динамично меняющейся внешней среды. Решение данной проблемы невозможно без осуществления прогнозирования тенденций развития промышленного предприятия и их учета в практике управления хозяйствующим образованием.

Развитие промышленности на современном этапе особенно нуждается в совершенствовании прогнозирования и планирования. Это связано в первую очередь с проявлением планетарного масштаба кризиса в экономике, экологии, социальной сфере и других сферах жизнедеятельности человека.

Кроме того, глобальный экологический кризис предъявляет более жесткие требования к промышленному производству. Экологическая модернизация производства и в целом жизнедеятельности поставлена на повестку дня мировым сообществом. В этом смысле обозначилось противостояние развитых и развивающихся стран, что, несомненно, скажется на товарообороте между ними.

Согласно принципам территориального планирования размещение промышленного производства на территории субъекта РФ, муниципального образования должно исходить из баланса социальной, экономической, экологической и иных составляющих развития данного территориального образования.

С другой стороны, территориальное планирование целиком и полностью опирается на прогноз развития промышленности на период до 20–25 лет. При этом решаются совершенно конкретные задачи перспективы тепло-, энерго- и газоснабжения предприятий, обеспечения транспортной инфраструктурой, кадрового обеспечения и т.д. на данной территории.

В целом по промышленности имеет место высокая степень износа оборудования (в среднем по отраслям на уровне 48,7%), низкая загруженность мощностей (61,4%),

что в целом обусловливает низкую производительность труда. Более 50% предприятий нуждаются в финансовом оздоровлении, их финансовое состояние оценивается как «неудовлетворительное», что обусловлено использованием устаревших технологий и низкой загруженностью изношенного оборудования [3].

Очевидно и то, что по техническому уровню, уровню автоматизации и механизации, комплексности и глубине переработки сырья, экологическим показателям и энергоемкости, имеющиеся производства заметно отстают от передовых производств. Значительно и отставание от конкурентов в использовании новых прогрессивных технологий и инноваций.

Необходима модернизация промышленности, которая будет направлена на поддержку действующих предприятий и развитие новых производств. Необходимо оказывать финансовую поддержку тем предприятиям, которые имеют четко выработанную стратегию развития и отвечают требованиям индустриально-инновационной политики (повышение производительности, конкурентоспособности, высокой добавленной стоимости, энергоэффективности и др.).

В целом можно констатировать, что государство активно демонстрирует свою готовность масштабно и системно заниматься вопросами модернизации промышленности, доведением её потенциала до уровня конкурентоспособности и эффективности высокоразвитых стран.

В ближайшей перспективе региону необходимо решить следующие важные задачи, требующие своего безотлагательного решения.

Формирование долгосрочной промышленной политики, не уступающей успешным зарубежным практикам, в основе которых лежат совместные усилия ученых, практиков, государственных управленцев и бизнес-сообщества. На данном этапе необходимо сформировать долгосрочное видение развития промышленности, наметить стратегические ориентиры. По сути, предстоит разработать промышленную политику. Промышленная политика – это система мер, направленных на прогрессивные изменения, прежде всего в структуре промышленного производства в соответствии с выбранными национальными целями и приоритетами. В этой связи необходимо максимально приложить усилия на таких направлениях модернизации промышленности, как диверсификация производства, совершенствование обрабатывающих и развитие новых более высоких технологий.

Здесь важно подчеркнуть необходимость развития на предприятиях инструментов и механизмов, стимулирующих инновационную деятельность. Что касается маркетингово-сбытовых технологий, то безусловно, этот фактор является ключевым для успеха модернизации. Действительно, эффективность хозяйственной деятельности зависит в равной степени как от каналов поставок сырья и материалов, так и от наличия рынков сбыта. Более того, модернизируемое предприятие нуждается в качественном сырье. Поэтому необходимо создание условий для формирования современных рыночных институтов, для обеспечения процесса модернизации.

Необходимым условием эффективной модернизации промышленного сектора является подготовка квалифицированных инженерных кадров нового поколения. Мы понимаем, что все вышеназванные направления модернизации и реструктуризации невозможно осуществить без критической массы соответствующего уровня специалистов, способных проектировать, управлять и поддерживать сложные и высокотехнологичные процессы. Реализуемые сегодня инвестиционные проекты в скором времени будут генерировать спрос на инженеров и технологов различных специальностей.

Поэтому необходимо запустить программу целевой подготовки и переподготовки инженерно-технических кадров для обеспечения реальных потребностей строящихся и модернизируемых производств. Вместе с тем мы понимаем, что процесс создания собственного кадрового потенциала отстает от развитых стран мира. Такие меры должны сопровождаться формированием отраслевых и региональных сетей реализации качественной кадровой политики на всех уровнях подготовки и переподготовки высококвалифицированных кадров. Обучение должно вестись на конкретных предприятиях, в том числе зарубежных, на современном оборудовании и с новейшими технологиями. Программы обучения будут соответствовать потребностям модернизируемой экономики.

Сегодня основной проблемой инновационного развития является, с одной стороны, слабая заинтересованность бизнеса в реализации инновационных проектов, с другой стороны – отстраненность отечественной науки и невостребованность ее технологических продуктов и, с третьей стороны – недостаточность финансовых и иных возможностей для разработки и внедрения новейших технологий и техники для многих предприятий реального сектора экономики.

В мировой практике эти функции и задачи решаются в рамках национальных инновационных систем. Они призваны обеспечивать организационные, структурные, правовые и другие условия развития научно-инновационного потенциала, стимулировать полноту реализации инновационных факторов. Поэтому важнейшей задачей является модернизация именно инновационной системы, которая должна быть способной обеспечить эффективную, и, главное, результативную связь науки с производством.

Сегодня крайне необходимо создать стимулы и условия для вовлечения в этот процесс не только предприятий, но и научного сообщества. Необходимо активизировать работу по развитию рыночных институтов, предоставляющих услуги, обеспечивающих создание, распространение и сопровождение инноваций. В этом вопросе внимание необходимо сконцентрировать на активизации государственно-частного партнерства – формирование научно-производственных альянсов и кластеров, создание малых и средних инновационных предприятий, создание эффективной национальной инновационной системы.

Мировой опыт свидетельствует, что модернизацию промышленности нельзя осуществить только за счет продуктов банковской системы. Необходимо определить дополнительные источники финансирования модернизации или диверсифицировать источники финансирования реструктуризации [4]. В этой связи необходимо задействовать новые возможности формирования долгосрочного ресурса на финансовых рынках, шире привлекать механизмы исламского финансирования. Для этого необходимо пересмотреть принципы, механизмы и инструменты стимулирования банковской среды в плане эффективного взаимодействия с субъектами научно-производственной сферы деятельности. Важным направлением реализации инвестиционной и инновационной политики модернизации промышленности должно стать создание сети отраслевых и региональных венчурных фондов с долевым участием каждого региона и отрасли.

В качестве новых источников формирования «длинных» ресурсов предлагаются вклады населения в виде пенсионной и страховой системы. Должны быть выработаны основы государственной политики по долгосрочной поддержке развития инструментов страхования жизни, проработаны вопросы расширения возможностей использования банковских вкладов населения, через стимулирование увеличения сроков вкладов.

В формировании долгосрочного инвестиционного ресурса должны участвовать иностранные инвесторы, для чего необходимо обеспечить привлечение и сопровождение инвестиций путем создания совместных фондов в стратегических секторах, требующих модернизации.

В этой связи по опыту стран, прошедших модернизацию (Турция, Япония, Китай и др.), региону совместно с финансовым блоком необходимо продумать институциональные предложения по развитию финансовых инструментов и формированию долгосрочного инвестиционного ресурса в виде создания «Фонда модернизации промышленности» с определением источников финансирования и целевых направлений использования [5].

Взаимодействие бизнеса и государства происходит преимущественно на региональном уровне. Организация строительства новых и обеспечение функционирования действующих предприятий входит в сферу ответственности региональных органов власти. Вместе с тем у регионов не всегда достаточно ресурсов и полномочий. Более того, слабо урегулированы вопросы взаимодействия центральных и региональных административных институтов. Эти аспекты государственного управления будут регулироваться обновленной региональной политикой, которая должна быть способной оптимально мобилизовать ресурсы и потенциал центральных и региональных органов власти, координировать их согласованные действия. Она должна обеспечить эффективное исполнение региональными и центральными органами власти своих функций для достижения целей модернизации и реструктуризации промышленности.

В решении обозначенных задач важно четко координировать действия основных участников процесса модернизации. При этом необходимо обеспечить сбалансированное развитие отраслей промышленности и регионов.

Таким образом, решение вышеперечисленных задач обеспечит эффективную модернизацию промышленности в целом. Ожидается, что в ближайшие годы модернизация промышленности станет одним из стержневых факторов развития стра-

ны. Через нее будет достигнуто инновационное развитие промышленности, диверсификация производств, повышение конкурентоспособности продукции, обновление капитала и в целом качественная индустриализация в виде улучшения структуры промышленности.

Список литературы

1. Нагоев А.Б. Организационно-экономические аспекты прогнозирования промышленности региона // Вестник института Дружбы народов Кавказа. «Теория экономики и управления народным хозяйством». – 2013. – № 1(25). – С. 36–38.

2. Татуев А.А., Стефанчук Е.Н., Хоконов М.М. Новый этап промышленного развития // Экономика промышленности. – 2014. – № 1.

3. Татуев А.А., Еделев Д.А., Керефов М.А. Приоритеты промышленного развития национальной экономики // Вестник института Дружбы народов Кавказа «Теория экономики и управления народным хозяйством». – 2013. – № 4(28). – С. 46–55.

4. Шульгина Л.В., Чернышов В.В. Значение инновационной деятельности в промышленной политике // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2012. – № 07. – С. 27–30.

5. Реиндустриализация должна стать базовой идеей создания новой экономики России [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://novostispb.ru/news/industrial. (Дата обращения: 23.12.2014).

References

1. Nagoev A.B. Organizacionno-jekonomicheskie aspekty prognozirovanija promyshlenno-sti regiona // Vestnik instituta Druzhby narodov Kavkaza. «Teorija jekonomiki i upravlenija narodnym hozjajstvom». 2013. no. 1(25). pp. 36–38.

2. Tatuev A.A., Stefanchuk E.N., Hokonov M.M. Novyj jetap promyshlennogo razvitija // Jekonomika promyshlennosti. 2014. no. 1.

3. Tatuev A.A., Edelev D.A., Kerefov M.A. Prioritety promyshlennogo razvitija nacio-nal'noj jekonomiki // Vestnik instituta Druzhby narodov Kavkaza «Teorija jekonomiki i upravlenija narodnym hozjajstvom». 2013. no. 4(28). pp. 46–55.

4. Shul'gina L.V., Chernyshov V.V. Znachenie innovacionnoj dejatel'nosti v promyshlennoj politike // FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. 2012. no. 07. pp. 27–30.

5. Reindustrializacija dolzhna stat' bazovoj ideej sozdanija novoj jekonomiki Rossii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://novostispb.ru/news/industrial. (Data obrashhe-nija: 23.12.2014).

Рецензенты:

Татуев А.А., д.э.н., профессор кафедры конституционного и административного права, ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик;

Щидов А.Х., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой бухгалтерского учета, анализа и аудита, ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 334.02: 338.27

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СБЫТОВЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Петров В.Ю., Петрова П.И.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург, e-mail: petrovvu2005@rambler.ru

В статье рассматривается клиентоориентированный подход как один из ключевых факторов построения долгосрочных взаимоотношений с клиентами и, более того, как процесс привлечения новых клиентов. Основным принципом считается такое взаимоотношение с клиентом, чтобы он предпочел продукт компании продукту конкурирующей фирмы. Авторы отмечают особенности клиентоориентированного производства, концепцию «бережливого производства», останавливаются на интеграции производственных отношений, видах систем и методах сбыта, концепциях формирования интегрированной системы управления предприятием. Проведенный в статье анализ может оказывать существенное влияние на инициацию перспективных инновационных разработок, повышение квалификации студентов, преподавателей и специалистов в области маркетинга и менеджмента, повысить потенциал проводимых ими исследований и разработок на внутреннем и внешнем рынках товаров и услуг.

Ключевые слова: клиент, клиентоориентированность, клиентоориентированный подход, конкуренция, производство, производственно-сбытовая система, рынок, сбыт, система сбыта, система управления предприятием

INTEGRATION OF PRODUCTION AND SALES SYSTEMS WITH POSITIONS AND CLIENT-ORIENTED APPROACH

Petrov V.Y., Petrova P.I.

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, e-mail: petrovvu2005@rambler.ru

The article discusses client-oriented approach as one of the key factors in building long-term relationships with clients and as the process of attracting new clients. The main principle is based on such a relationship with the client that he preferred the company product competing firm. The authors note features klientoorientirovannoj production, the concept of «lean production» stop on the integration of industrial relations, types of systems and methods of marketing, concepts of forming an integrated enterprise management system. Carried out in the article the analysis can have a significant impact on the initiation of innovative ideas, professional development of students, teachers and experts in the field of marketing and management, to enhance the capacity of their research and development on internal and external markets of goods and services.

Keywords: the client, klientoorientirovannosti, client-oriented approach, competition, production, manufacturing and sales system, market, marketing, marketing, enterprise management system

В последнее время клиентоориентированность становится неотъемлемой частью стратегии ведения практически любого бизнеса. В условиях высокой конкуренции на рынке, где компании предлагают однотипный товар, незначительно отличающийся по стоимости, цена не является определяющим фактором для окончательного решения покупателя в пользу того или иного продавца. В связи с этим организации, стремящиеся завоевать новые или удержать старые позиции на рынке, осознают необходимость применения неценовых методов для стимулирования покупателей.

В рамках клиентоориентированного подхода предприятие стремится к удовлетворению потребностей клиента и предложению ему такого товара, который будет наиболее полно отвечать его требованиям. При таком подходе производство товаров зависит не от собственных возможностей предприятия, а от потребителя и его потребностей. Кроме того, одним из ключевых факторов является построение долгосрочных взаимоотношений с клиентом, предложение ему каких-либо дополнительных услуг, обеспечение качественным сервисом, а не краткосрочный результат конкретной сделки.

Очевидно, что процесс построения отношений с потребителями сложен и растянут во времени. Отношения начинаются с разовых взаимодействий и при наличии благоприятного опыта с обеих сторон постепенно превращаются в партнерские [10]. Предприятие стремится обеспечить все условия для того, чтобы клиент не только к нему вернулся, но и, возможно, привел новых потребителей.

Сотрудничество с клиентами – это один из типов взаимоотношений компании с партнерами. Помимо него выделяют

также внутреннее сотрудничество, сотрудничество с поставщиками, сотрудничество с посредниками и внешнее сотрудничество [6]. Управление взаимоотношениями с партнерами направлено на установление и поддержание прочных взаимосвязей между поставщиками, продавцами и клиентами, так чтобы все стороны были удовлетворены в процессе покупке. При этом если компания является только продавцом, то она становится промежуточным звеном между поставщиком и потребителем, и для создания уникальной ценности продукта ей необходимо проанализировать потребности потребителя и обеспечить этой информацией производителя. Таким образом, как и отмечалось ранее, потребительские требования являются определяющим фактором для производства тех или иных товаров и услуг.

Основными компонентами клиентоориентированного подхода являются: ориентация на удержание клиентов; индивидуальные коммуникации, основанные на отношениях, а не на продукте; сотрудничество с клиентами. При этом одним из ключевых принципов является «управлять взаимоотношениями с клиентами так, чтобы они на постоянной основе устойчиво предпочитали продукт компании аналогам конкурентов» [4]. В соответствии с данным принципом становится понятной важность организации правильных отношений не только в момент покупки, но и «до» (в качестве консультации, помощи при подборе того или иного продукта), и «после» (сервисное обслуживание, сопровождение) совершения сделки. Покупая товар, клиент не только оценивает качество приобретения, но и возможные выгоды (дополнительные услуги), которые он может получить.

В контексте данной статьи можно дать следующее определение: «клиентоориентированным» называется такое предприятие, которое стремится полностью удовлетворить потребности клиента посредством инструментов маркетинга взаимоотношений и применения концепции маркетинга взаимоотношений на практике [2]. Кроме того, клиентоориентированное предприятие обладает способностью выделить целевую группу клиентов; понимает ожидания своих клиентов и работает с клиентом, соблюдая комфортный для него баланс ожиданий и предъявляемых требований к предприятию.

Учитывая все вышесказанное, становится очевидным, что применение на предприятии клиентоориентированного подхода существенно влияет на организацию производства и сбыта товаров. Так, за счет использования клиентоориентированного подхода расширяется сбытовая концепция компании: помимо «эффективных продаж» уделяется внимание до- и послепродажному обслуживанию, выстраивается единая схема работы с клиентами. Особенностью клиентоориентированного сбыта является то, что продажи товаров и услуг приспосабливаются к требованиям заказчиков: временным, транспортным, сервисным и т.д. В процессе такой ориентации предприятие создает и постепенно накапливает информационную базу по учету требований заказчика для разработок, производства и сервиса [1]. При этом считается, что производиться и закупаться должно только то, что действительно необходимо клиенту.

Отличительными особенностями клиентоориентированного производства являются [5]:

- максимальная персонализация предлагаемых товаров и услуг к требованиям заказчика;
- оптимальное соотношение между показателями времени выполнения заказа, вариабельностью повторяемых действий или изделий, затратами и себестоимостью действий;
- хорошо организованное взаимодействие с поставщиками и партнерами компании;
- оптимизированные отношения с сотрудниками.

Таким образом, производство ориентируется на отдельного клиента или целевую группу, и в конечном итоге именно предъявляемые ими требования являются определяющими и изменяющими все характеристики производства и сбыта продукции предприятия.

Для того чтобы рассматривать вопросы интеграции производственных и сбытовых систем, необходимо раскрыть суть этих понятий. С точки зрения системного подхода к организации производственной системой называется система, которая использует операционные ресурсы предприятия для преобразования вводимого фактора производства («вход») в избранную предприятием продукцию или услугу («выход»), при этом «вход» может быть представлен сырьем, заказчиком либо готовой продукцией, полученной из другой производственной системы [8]. Как упоминалось ранее, клиентоориентированная компания в первую очередь фокусирует свое внимание на клиенте и его требованиях, соответственно, главной целью функционирования всех элементов ее производственной системы должно быть изготовление продукции, необходимой потребителю. В связи с этим на предприятии должна быть продумана грамотная концепция организации и управления производством.

Виды систем сбыта

Система сбыта	Сущность
Простая	Наличие только производителя и потребителя
Сложная	Имеется сеть собственных сбытовых филиалов, дочерних филиалов, независимых посредников, оптовых и розничных фирм
Традиционная	Состоит из независимых производителя, одного или нескольких оптовых торговцев, а также розничных торговцев. Все участники самостоятельны. Их основная цель – получение максимума прибыли на своем участке цепи сбыта.
Вертикальная, в том числе: а) корпоративная б) договорная в) управляемая	Состоит из производителя, одного или нескольких оптовых, а также розничных продавцов, объединенных едиными целями и интересами, а потому действует как система. Один из участников обычно играет главенствующую роль: а) действует в рамках организационной структуры данного предприятия б) в рамках договорных отношений, координирующих программ в) в рамках влияния одного из участников
Горизонтальная	Представляет собой объединение двух или более предприятий при совместном освоении данного рынка
Многоканальная	Предполагает использование и прямых, и косвенных методов сбыта: торговля организуется через собственную сбытовую сеть, а также через независимых посредников

Успех клиентоориентированной компании во многом зависит от выбранной системы сбыта. Очевидно, что если компания одновременно является и производителем, и продавцом, а также использует прямой канал сбыта, тогда у нее возникает больше возможностей для построения долгосрочных отношений с клиентами. Если же компания является посредником в цепочке «производитель – потребитель», тогда для успешной реализации клиентоориентированной стратегии ей необходимо грамотно управлять взаимоотношениями со своими партнерами, чтобы они были заинтересованы в достижении поставленных целей.

Как и клиентоориентированный подход, так называемая концепция «бережливого производства» (Lean production, Lean manufacturing, Lean) направлена на пересмотр основ организации как производственных отношений внутри предприятия, так и отношений с поставщиками и потребителями [3]. В рамках данной концепции вся деятельность предприятия разделяется на операции и процессы, которые добавляют и не добавляют ценность для потребителя, а основной задачей является процесс устранения потерь, то есть всего того, что не добавляет ценности для потребителя. Такой управленческий подход к оценке и организации производства является логичным и эффективным для построения клиентоориентированной компании.

Системой сбыта называется комплекс, состоящий из сбытовой сети предприятия и тех каналов сбыта, которые она использует для продажи товаров. Основная цель сбытовой политики предприятия – обеспечение доступности товаров для потребителей. При этом выделяются следующие методы сбыта: прямой (производитель сам работает с конечным потребителем без услуг посредника), косвенный (в процессе товародвижения производитель использует независимых посредников) и комбинированный (в качестве посредников используются организации со смешанным капиталом, включающим и капитал самой фирмы-производителя) [9]. В практике маркетинга выделяют различные системы сбыта, основные из которых представлены в таблице.

Понятие «интеграция» используется во многих областях знания, в каждой из которых его значение имеет определенную специфику [10]. В широком смысле интеграция (лат. integration – восстановление, восполнение) – это объединение в единое целое каких-либо частей. При этом создание единого целого невозможно без согласования целей развития системы. Производственная и сбытовая системы являются взаимодополняющими, определяют жизнеспособность, конкурентоспособность и устойчивость друг друга. Их взаимосвязь настолько сильна и многоаспектна, что, занимаясь одним направлением, неизбежно

приходится учитывать состояние другого. Комплекс интеграционных мероприятий должен быть направлен на синхронизацию производственно-сбытовых процессов.

Формирование и поддержание работы интегрированной производственно-сбытовой системы невозможно без организации интегрированной системы управления предприятием. С развитием информационных технологий, автоматизирующих процесс управления предприятием, создание интегрированной системы управления предприятием заметно упростилось. В настоящее время выделяется 2 основные концепции формирования интегрированной системы управления предприятием:

1. Концепция ERP-системы (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) представляет собой организационную стратегию интеграции всех ресурсов предприятия (производственных, финансовых, информационных, сбытовых и т.д.), ориентированную на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия, в том числе с использованием специального программного обеспечения.

2. Концепция SCM-системы (Supply Chain Management) – управление расширенной производственной цепочкой, которое охватывает не только внутренние ресурсы предприятия, но и важнейшие внешние (например, учет заказчиков и поставщиков). SCM реализует новейшую технологию управления, описываемую стандартом CSRP (Customer Synchronized Resource Planning), который предполагает наличие в системе возможностей управления внешних по отношению к предприятию элементов производственной цепочки. Целью выхода за пределы предприятия является управление полным циклом выпуска продукции от проектирования до гарантийного и сервисного обслуживания после продажи.

С точки зрения клиентоориентированного подхода обе концепции содержат в себе механизмы, которые можно использовать для анализа потребительских предпочтений с целью управления интегрированной производственно-сбытовой системой. Однако концепция ERP-системы больше подходит для предприятия, ресурсы которого могут быть распределены территориально, но при этом в его структуре есть службы, которые занимаются и производством, и распределением, и сбытом продукции. Для такой компании внедрение ERP-системы позволит более эффективно управлять различными процессами внутри нее с целью оптимизации работы всех служб предприятия. Для компаний, которые являются лишь частью производственно-сбытовой цепочки, большое значение имеют не только внутренние ресурсы, но и оценка работы внешних ресурсов. В этом случае использование концепции SCM-системы позволяет проследить полный цикл выпуска продукции, в котором могут быть задействованы разные предприятия, отвечающие за те или иные функции. При этом в такой ситуации создание уникальной потребительской ценности продукта невозможно без установления прочных и взаимовыгодных отношений со всеми партнерами.

Таким образом, построение интегрированной производственно-сбытовой системы в условиях клиентоориентированности в первую очередь зависит от того, являются ли эти системы частью одного предприятия или нескольких. При этом совершенно понятно, что предприятию, которое является не только производителем, но и напрямую работает с потребителем, намного проще развивать и поддерживать клиентоориентированный подход в своей работе. Тем не менее подавляющее большинство предприятий являются лишь частью цепочки «производитель – потребитель», поэтому для успешной реализации клиентоориентированной стратегии и извлечения из нее всех преимуществ им необходимо грамотно управлять не только взаимоотношениями с клиентами, но и с посредниками-партнерами.

Список литературы

1. Айрапетов О.Р. Проблемы организации и планирования сбытовой деятельности предприятия // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.

2. Варзунов А.В. Формирование программ лояльности клиентов и понятие клиентоориентированности предприятия // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Вып. 50 (экономические и гуманитарные проблемы). – 2008. – С. 126–134.

3. Голяков С.М. Современные производственные системы предприятий [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ibl.ru/konf/151211/proizvodstvennie-sistemy-predprijatiy.html (дата обращения: 15.11.2014).

4. Гришутина С.Н. Управление развитием машиностроительного предприятия на основе клиентоориентированного подхода: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Белгород, 2010. – 26 с.

5. Казакова О.Б. Управление клиентоориентированным производством // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2009. – № 4.

6. Комлева Н.С. Формирование системы управления взаимоотношениями промышленной компании с деловыми партнерами // Modern directions of theoretical and applied researches, SWorld conference. – 19–30 марта 2013.

7. Мисюкевич А.В., Есаулов М.Н. Клиентоориентированный подход к обеспечению качества продукции, услуг в сфере поставщик – потребитель // Материалы VII Международной научно-технической конференции. – М.: МИРЭА, Intermatic, 23–27 ноября 2010.

8. Понятие производства и производственной системы [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://bbest.ru/management/reshenie/obekt/sistem/(дата обращения: 15.11.2014).

9. Сбытовая политика предприятия [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.smartcat.ru/Marketing/egorovamarketingAU.shtml (дата обращения: 15.11.2014).

10. Стерлигова А.Н. Анализ значения термина «интеграция» в контексте управления организацией // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 6.

References

1. Ajirapetov O.R. Problemy organizacii i planirovanija sbytovoji dejatelnosti predprijatija // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 5.

2. Varzunov A.V. Formirovanie programm lojalnosti klientov i ponjatie klientoorientirovannosti predprijatija // Nauchno-technicheskji vestnik SPbGU ITMO. Vypusk 50 (jekonomicheskie I gumanitarnyie problem) 2008. pp. 126–134.

3. Goljakov S.M. Sovremennye proizvodstvennye sistemy predprijatiji. [Jelektronnyji resurs] URL: http://www.ibl.ru/kogija nf/151211/proizvodstvennie-sistemy-predprijatiy.html (data obrashenija: 15.11.2014).

4. Grishutina S.N. Upravlenie razvitiem mashinostroitelnogo predprijatija na osnove klientoorientirovannogo podhoda: avtoref. dis. k. e. n. Belgorod, 2010. 26 p.

5. Kazakova O.V. Upravlenie klientoorientirovannum proizvodstvom // Vestnik RGRTU/-Rjazan, 2009. no. 4.

6. Komleva N.S. Formirovanie sistemy upravlenija vzaimootnoshenijami promyshlennoji kompanii s delovymi partnerami // Modern directions of theoretical and applied researches, SWorld conference. 19–30 marta 2013.

7. Misjukevich A.V., Esaulov M.N. Klientoorientirovannyji podhod k obespecheniju kachestva produccii, uslug v sfere postavchik-potrebitel // Materialy VII Megdunarodnoj Nauchno-tehnitcheskoji konferencii, Moskva, MIREA, Intermatic. 23–27 nojabrja 2010.

8. Ponjatie proizvodstva i proizvodstvennoji sistemy. [Jelektronnyji resurs] URL:http://bbest.ru/management/reshenie/obekt/sistem (data obrashenija: 15.11.2014).

9. Sbytovaja politica predprijatija Сбытовая политика предприятия: [Jelektronnyji resurs] URL:http://www.smartcat.ru/Marketing/egorovamarketingAU.shtml. (data obrashenija: 15.11.2014).

10. Sterligova A.N. Analiz znachenija termina «integracija» v kontekste upravlenija organizacieji // Logistika I upravlenie cepjami postavok. 2005. no. 6

Рецензенты:

Васюхин О.В., д.э.н., профессор, зав. кафедрой прикладной экономики и маркетинга, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург;

Смирнов С.Б., д.э.н., профессор, зав. кафедрой экономической теории и бизнеса, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 674:658.56

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рубцов А.В., Левшина В.В.

Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, e-mail: mr.rubtcov@yandex.ru

В статье приведены результаты анализа информационного обеспечения системы менеджмента качества деревообрабатывающего предприятия, основанного на интеграции трех основополагающих элементов: 1) организационная структура – является основой, по которой движется информация и удовлетворяет информационные потребности процессов СМК; 2) процессная модель предприятия – является движущей силой информационных потоков; 3) информационная система – задает способы выполнения операций с информацией (создание, передача, обработка, изменение, хранение и т.д.). На основании данного анализа построена эталонная модель информационного обеспечения СМК, удовлетворяющая требованиям всех заинтересованных сторон (субъектов информационной системы предприятия) и нормативных документов (стандарт ГОСТ ISO 9001–2011, ГОСТ Р 55681 2013, стандарт предприятия по делопроизводству). Предложены организационно-методические рекомендации по внедрению данной модели в систему реального деревообрабатывающего предприятия посредством применения квалиграмм процессов.

Ключевые слова: система менеджмента качества, информационное обеспечение, организационная структура, процессная модель, информационная система, квалиграммы, принятие управленческих решений, информационные потоки

ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO IMPROVING INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEM OF QUALITY WOODWORKING ENTERPRISES

Rubtsov A.V., Levshina V.V.

Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, e-mail: mr.rubtcov@yandex.ru

The results of the analysis of information support of quality management system woodworking enterprise integration based on three pillars: 1) organizational structure – is the basis of the claim which moves information and meets the information needs of the QMS processes; 2) process model of the company – is the driving force behind the flow of information; 3) methods for the information system is a given operations information (creation, transmission, processing, modification, storage, etc). On the basis of this analysis is based reference model of information support QMS meets the requirements of all stakeholders (subjects of enterprise information system) and regulations (standard GOST ISO 9001–2011, GOST R 55681 2013 enterprise standard for records management). Proposed organizational guidelines for the implementation of this model in real wood processing company, their means of application kvaligramm processes.

Keywords: the quality management system, information technology, organizational structure, process model, information system, kvaligrammy, managerial decision-making, information flows

Информационная обеспеченность принимаемых решений определяет выживаемость фирмы на рынке [3]. Повышенной чувствительностью к соответствию информации относительно остальных направлений отличаются управленческая область менеджмента качества, это определяется ее тесной связью с вопросами разработки и реализации стратегии фирмы и масштабностью сферы влияния данного направления [4, 5]. Все эти факторы обостряют значение вопроса о качестве информации, то есть – степени практической пригодности информации, используемой в процессе управления [1]. Из всего вышесказанного можно сделать вывод о важности обеспечения информацией, которое среди множества факторов, определяющих результативность систем менеджмента качества, является важнейшим [2].

Объекты нашего исследования – два крупных деревообрабатывающих предприятия, имеющих вес не только на внутреннем рынке, но в мировом масштабе. Целью исследования является совершенствование информационного обеспечения системы менеджмента качества на основе интеграционных улучшений его элементов: организационной структуры, процессной модели и информационной системы.

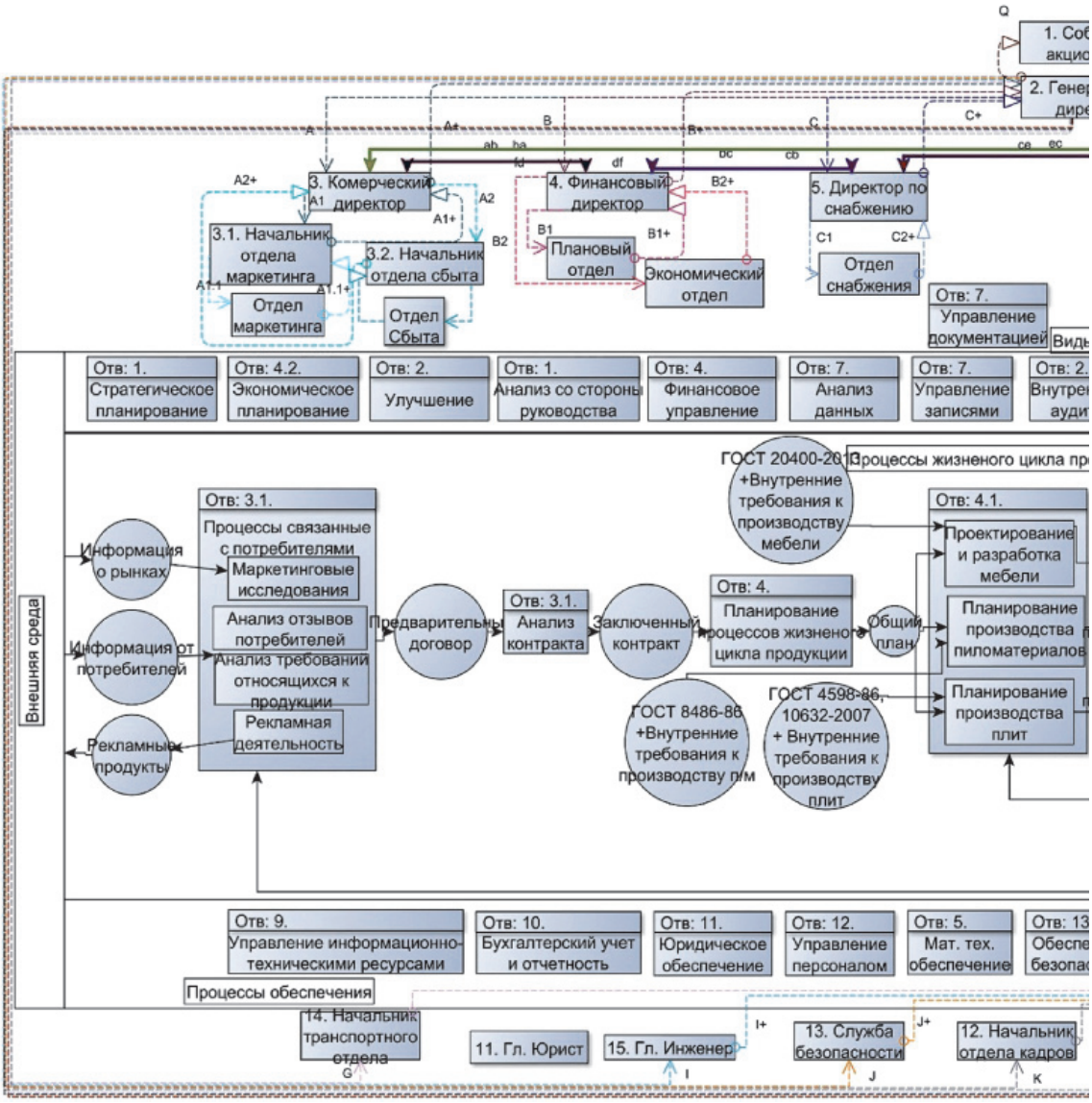


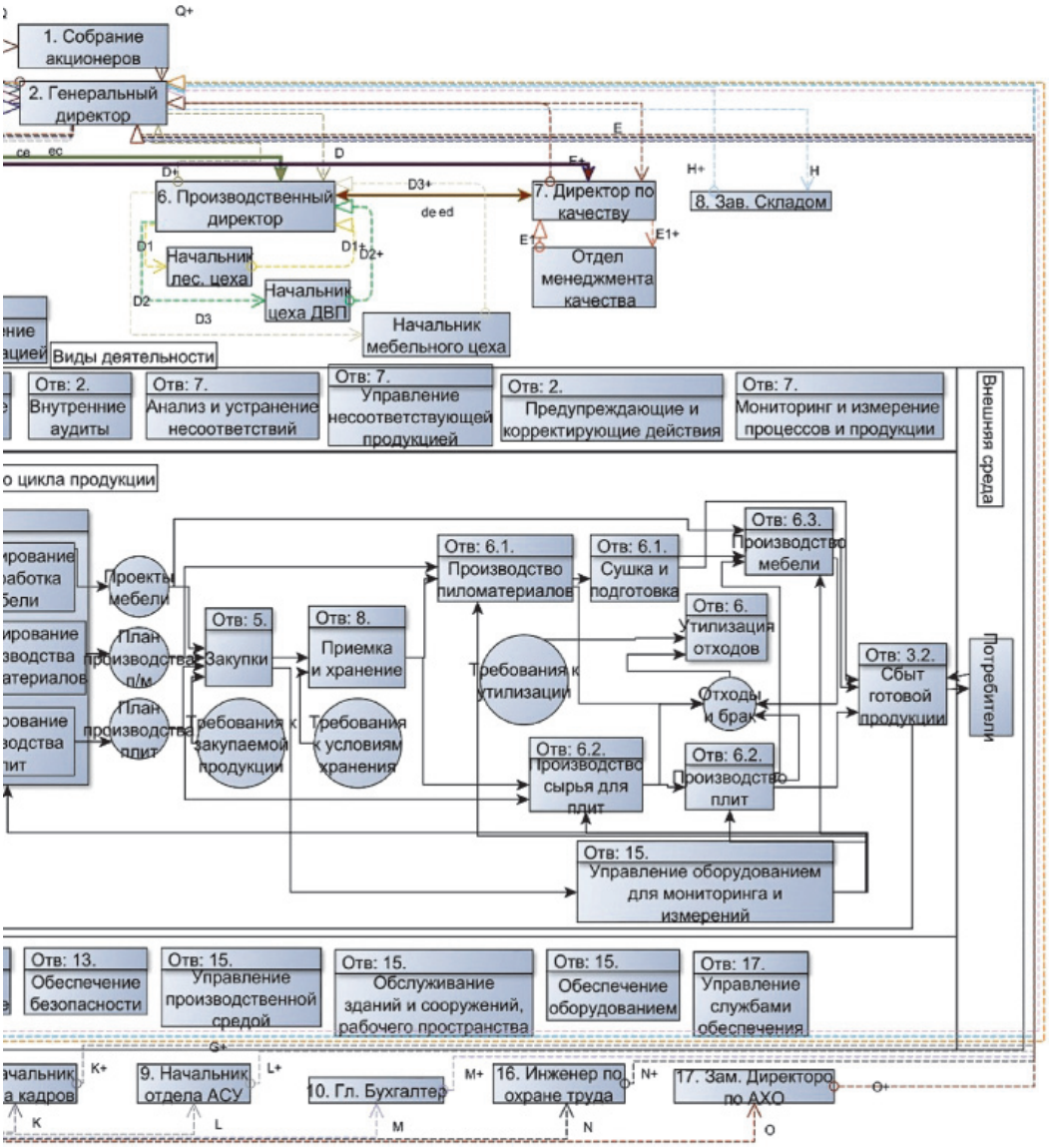
Рис. 1. Эталонная модель информационного обеспечения системы

На основании ранее проведенных анализов: информационных систем и полей предприятий [11], их совмещенных моделей, включающих в себя все основополагающие элементы (организационные структуры, процессные модели, информационные системы) [12], – нами построена эталонная модель информационного обеспечения системы менеджмента качества идентичного предприятия (рис. 1). При организации информационного пространства в соответствии с представленным видом информационное обеспечение на предприятии будет происходить должным образом.

Эталонная модель (рис. 1) не имеет искаженной информации (отсутствие букв со знаком *). Все субъекты должным образом выполняют только свои функции и операции с информацией, обеспечивают выполнения только подчинённых им процессов. Представим полученные в ходе построения эталонной модели информационного обеспечения СМК деревообрабатывающего предприятия правила и законы в виде формул. Такое представление позволит применять их отдельно для каждого потока и вида информации: информация, нисходящая от руководителя функционального подразделения i начальнику отдела k, представляет собой производственное задание со средними значениями концентрации управленческой информации, но большим количеством технических данных и показателей, имеет вид

$$N_{ik} = N_i \cdot n_i, \qquad (1)$$

где i – подразделения предприятия; N_i – нисходящая информация от генерального



менеджмента качества деревообрабатывающего предприятия

директора руководителю подразделения *i;* n_i – данные, генерируемые на уровне руководителя подразделения *i*, с помощью ресурса n_i', такой ресурс есть у каждого элемента информационной системы, благодаря ему владелец генерирует, добывает эксклюзивную информацию для обеспечения своего процесса и формирования восходящих, а также горизонтальных потоков.

Восходящая информация от начальника отдела *k*, руководителю функционального подразделения *i*. Данная информация представляется следующим образом:

$$N_{ik} += N_{ik} \cdot n_{ik}, \qquad (2)$$

где n_{ik} – данные, генерируемые на уровне начальника отдела *k,* подразделения *I,* с помощью ресурса n_{ik}'.

Высокими качественными характеристиками обладает информация, распределяющаяся управленцем предприятия между руководителями высшего звена.

$$N_i = Q \cdot j, \qquad (3)$$

где *Q* – информация, нисходящая на уровень генерального директора; *j* – данные, генерируемые на уровне генерального директора, с помощью ресурса j'.

Восходящий к управленцу поток подчиняется правилу, описанному выше, и имеет вид

$$N_i += N_i \cdot n_i \cdot \prod_{k=1}^{k} N_{ik}. \qquad (4)$$

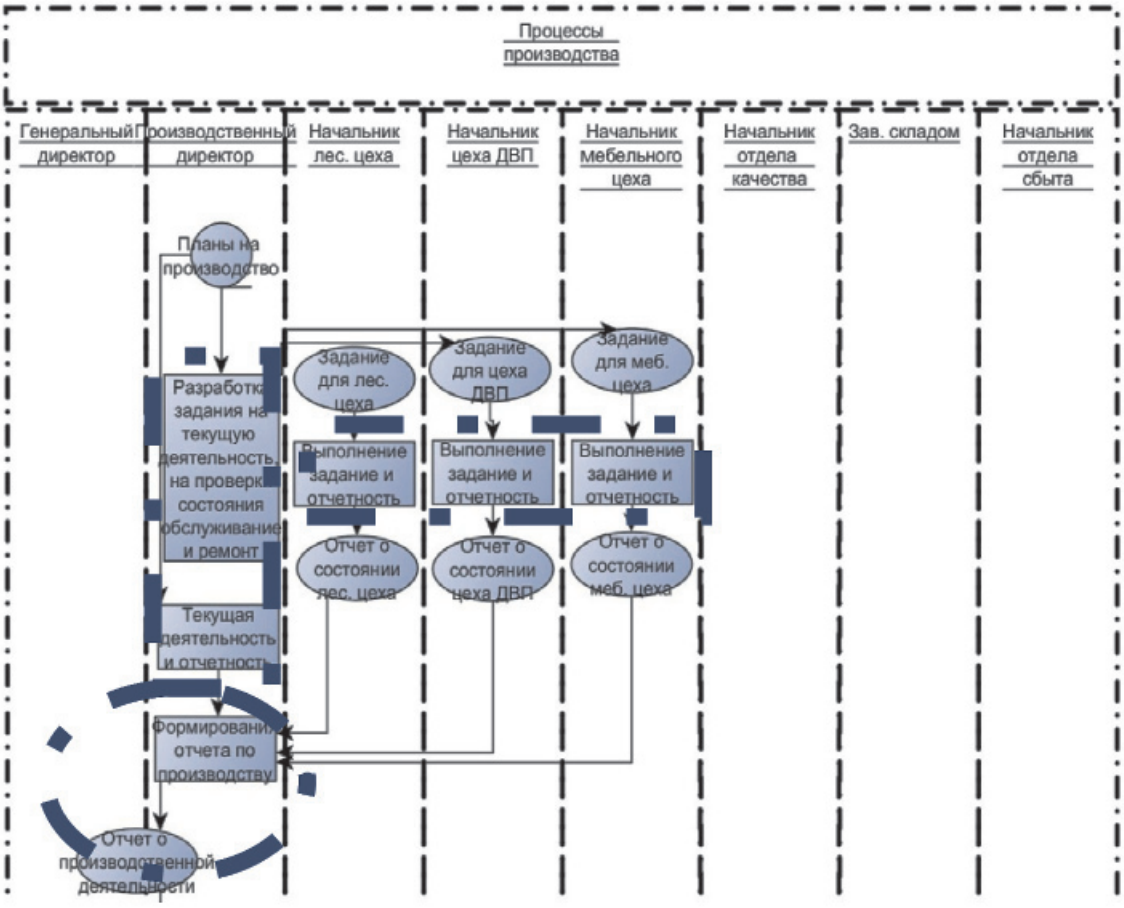


Рис. 2. Квалиграмма «Процессы производства»

Поток, нисходящий от собрания акционеров предприятия, имеет наибольшую концентрацию, в нем содержатся цели предприятия и план реализации стратегии

$$Q = Q + q, \qquad (5)$$

где $Q+$ – восходящая с уровня генерального директора информация; q – данные, генерируемые на уровне собрания акционеров, с помощью ресурса j'.

Информация, передающаяся на высший уровень, представляет собой обобщенные и переработанные данные генеральным директором со всех подразделений.

$$Q+ = \sum_{i=1}^{i}(N_i + \cdot j \cdot Q). \qquad (6)$$

Организация повсеместного выполнения предложенных правил применительно ко всему информационному процессу, не прекращающемуся в системе «предприятие», гарантирует выход информационного обеспечения системы менеджмента качества и системы менеджмента предприятия на качественно новый уровень. Кроме того, проводимые улучшения позволят:

1) привести в порядок внутрифирменные коммуникации;

2) решить проблемы с распределением функций, полномочий и ответственности менеджеров и сотрудников предприятий;

3) реализовать процессный подход на предприятии за счет формирования необходимых информационных ресурсов для каждого процесса и его владельца и жесткой регламентированности связей между ними;

4) разрешить проблему качества ресурсов для принятия управленческих решений;

5) проводить полный мониторинг деятельности всего предприятия в любой момент времени.

Нами были разработаны организационно-методические рекомендации, основанные на предложенном практическом подходе к совершенствованию информационного обеспечения системы менеджмента качества деревообрабатывающего предпри-

ятия, суть которого заключается в пошаговой адаптации созданной нами эталонной модели информационного обеспечения системы менеджмента качества. Для этого нами формируются карты по каждому процессу с учетом всех областей и сфер, представленных в модели. Иными словами, мы переформатируем модель и разбиваем ее на отдельные процессы, сохраняя при этом все существующие в ней взаимосвязи. В качестве таких карт нами используются квалиграммы [6] процессов предприятия, что является новым подходом к их использованию в качестве инструмента для совершенствования информационного обеспечения СМК, а также самой системы в целом. Представляем в качестве примера фрагмент квалиграммы, «Процессы производства» (рис. 2). Для большей информативности и демонстрации наличия действительных организационных улучшений отметим на ней штрих – пунктирными фигурами места несоответствий с каждым из объектов нашего исследования (овал – предприятие № 1, прямоугольник – предприятие № 2), сплошным семиугольником – места совпадения несоответствий на двух предприятиях. Как можно увидеть на квалиграмме первый блок операций напрямую не относится к производству. Все действия выполняются в соответствии с тактическим планом. После выполнения заданий формируются отчеты каждым производственным подразделением и передаются производственному директору, который в свою очередь на их основании готовит отчет о состоянии производственной среды и текущей производственной деятельности для генерального директора.

Подводя итог внедрения разработанных нами рекомендаций на деревообрабатывающие предприятия через квалиграммы процессов, мы можем сделать вывод о правильности выбора метода реализации результатов исследования, так как нам удалось наложить карты процессов на реально протекающие процессы предприятия с целью последующих корректировок их структуры и наполнения. Еще один результат внедрения – подтверждение выдвигаемых нами в процессе исследования предположений о взаимосвязи организационной структуры, процессной модели и информационной системы и совместном формировании ими информационного обеспечения системы менеджмента качества.

Список литературы

1. Акимов Т.А. Теория организации. – М.: Юнити, 2003.

2. Алиев В.Г., Варфоломеев В.П., Варфоломеева Э.А. Теория организации: учебник для вузов / под ред. В.Г. Алиева. – М.: Экономика, 2003.

3. Афанасьев С.В., Ярещенко В.Н. Эффективность информационного обеспечения управления. – М.: Экономика, 2007.

4. Голенищев Э.П., Клименко И.В. Информационное обеспечение систем управления: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 315 с.

5. Дзюба С.А. Эффективность системы управления: информационный подход // Менеджмент в России и за рубежом. – 2010. – № 4. – С. 3–10.

6. Дранишников С.В., Дроздов А.В. Квалиграммы: новое слово в описании бизнес-процессов // Методы менеджмента качества. – 2011. – № 10. – С. 10–14.

7. Маркин Ю.П. Математические методы и модели в экономике: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2007.

8. Мотовилова М.А. Управленческие технологии как механизмы согласования интересов участников предприятия // Менеджмент в России. – 2010. – № 4. – С. 46–51.

9. Окрепилов В.В. Менеджмент качества: в 2-х т. учебник. – СПб.: Изд-во «Наука», 2007. – 72,5 п.л.

10. Окрепилов В.В. Эволюция качества. – СПб.: Наука, 2008.

11. Рубцов А.В, Мордвинов С.В. Информационные технологии в системе менеджмента качества на примере деревообрабатывающих предприятий г. Лесосибирска // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 1 (ч. 2). – С. 562–569.

12. Рубцов А.В., Левшина В.В. Информационное обеспечение как основа функционирования системы менеджмента качества деревообрабатывающего предприятия // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16803 (дата обращения: 12.01.2015).

13. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. – М.: СИНТЕГ, 2009.

References

1. Akimov T.A. Teorija organizacii. M.: Juniti, 2003.

2. Aliev V.G., Varfolomeev V.P., Varfolomeeva Je.A. Teorija organizacii: uchebnik dlja vuzov / pod red. V.G. Alieva. M.: Jekonomika, 2003.

3. Afanas'ev S.V., Jareshhenko V.N. Jeffektivnost' informacionnogo obespechenija upravlenija. M.: Jekonomika, 2007.

4. Golenishhev Je.P., Klimenko I.V. Informacionnoe obespechenie sistem upravlenija: uchebnoe posobie. Rostov n/D: Feniks, 2010. 315 p.

5. Dzjuba S.A. Jeffektivnost' sistemy upravlenija: informacionnyj podhod // Menedzhment v Rossii i za rubezhom. 2010. no. 4. pp. 3–10.

6. Dranishnikov C.B., Drozdov A.V. Kvaligrammy novoe slovo v opisanii biznes-processov // Metody menedzhmenta kachestva. 2011. no. 10. pp. 10–14.

7. Markin Ju.P. Matematicheskie metody i modeli v jekonomike: uchebnoe posobie. M.: Vysshaja shkola, 2007.

8. Motovilova M.A. Upravlencheskie tehnologii kak mehanizmy soglasovanija interesov uchastnikov predprijatija // Menedzhment v Rossii. 2010. no. 4. pp. 46–51.

9. Okrepilov V.V. Menedzhment kachestva: v 2-h t. uchebnik. SPb.: Izd-vo «Nauka», 2007. 72,5 p.l.

10. Okrepilov V.V. Jevoljucija kachestva. SPb.: Nauka, 2008.

11. Rubcov A.V, Mordvinov S.V. Informacionnye tehnologii v sisteme menedzhmenta kachestva na primere derevoobrabatyvajushhih predprijatij g. Lesosibirska // Jekonomika i predprinimatel'stvo. 2014. no. 1 (ch. 2). pp. 562–569.

12. Rubcov A.V., Levshina V.V. Informacionnoe obespechenie, kak osnova funkcionirovanija sistemy menedzhmenta kachestva derevoobrabatyvajushhego predprijatija // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: http://www.science-education.ru/120-16803 (data obrashhenija: 12.01.2015).

13. Trahtengerc Je.A. Komp'juternye metody realizacii jekonomicheskih i informacionnyh upravlencheskih reshenij. M.: SINTEG, 2009.

Рецензенты:

Макаров В.А., д.г.-м.н., профессор, директор Института горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск;

Журавлев В.М., д.ф.-м.н., профессор, проректор по фундаментальной подготовке СФУ, г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 336.647/648

УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ КОРПОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВОЛАТИЛЬНОСТИ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ

[1]Суетин С.Н., [2]Аношин В.Н., [1]Котлячков О.В., [2]Кещян В.Г.

[1]НОУ ВО «Московский технологический институт», Москва, e-mail: s_suetin@mti.edu.ru, ovkotlaychkov@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва, e-mail: slava@anoshin.ru, vazgen.k@bk.ru

В статье анализируются проблемы управления финансовыми ресурсами корпорации в условиях повышенной волатильности финансовых рынков. Целью данной работы является определение возможности фондового рынка для более эффективного управления финансовыми ресурсами, снижения рисков и получения дополнительных выгод. Основными методами проведённого исследования следует считать дедукцию, индукцию, анализ и сравнение. Авторами проведено исследование эффективности управления финансами корпораций, произведена оценка целесообразности осуществления сделок на финансовых рынках, в т.ч. IPO, приобретение облигаций и мн. др. Полученные результаты исследования могут быть использованы в финансово-хозяйственной деятельности корпораций, а также в учебной и научной работах в области экономики организаций, финансового и инвестиционного менеджмента. В качестве основных результатов данного исследования служит вывод о целесообразности осуществление операций на финансовых рынках для решения актуальных проблем в области управления финансовыми ресурсами, обоснованы направления повышения эффективности управления корпорацией в условиях волатильности финансовых рынков.

Ключевые слова: финансы, управление финансами, финансовые ресурсы корпорации, управление финансовыми ресурсами, рынок акций, риск, финансовые риски, финансовые рынки, акционерные общества, олигополии, транснациональные корпорации, волатильность финансовых рынков, операции на рынке ценных бумаг

FINANCIAL RESOURCES CORPORATION UNDER INCREASED FINANCIAL MARKET VOLATILITY

[1]Suetin S.N., [2]Anoshin V.N., [1]Kotlyachkov O.V., [2]Keschyan V.G.

[1]Moscow Technological Institute, Moscow, e-mail: ansuetin@mail.ru, ovkotlaychkov@mail.ru;

[2]Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: slava@anoshin.ru, vazgen.k@bk.ru

The article analyzes the problems of financial management corporation in terms of increased volatility in financial markets. The aim of this study is to determine the possibility of the stock market for more efficient management of financial resources, reduce risk and provide additional benefits. The main methods of the study should be assumed deduction, induction, analysis and comparison. The authors investigated the effectiveness of the financial management of corporations, assessed the feasibility of carrying out transactions in the financial markets, including IPO, the acquisition of bonds, and more. others. The results of research can be used in financial and economic activities of corporations, as well as in teaching and research in economics organizations, financial and investment management. The main findings of this study is agreed on the desirability to conduct transactions in the financial markets to solve urgent problems in the field of financial management, the directions of improving the management of the corporation in terms of volatility of financial markets.

Keywords: finance, financial management, financial resources, corporations, financial management, stock market risk, financial risk, financial markets, joint stock companies, oligopolies, multinational corporations, the volatility of financial markets, transactions in the securities market

Мы придерживаемся мнения, что формирование эффективного инвестиционно-финансового механизма акционерного общества [1] является комплексным решением проблемы управления финансовыми ресурсами корпорации в условиях повышенной волатильности финансовых рынков.

В условиях финансовой глобализации приоритетное значение имеет формирование эффективного инвестиционно-финансового механизма предприятия, который позволяет более рационально формировать, распределять и использовать фонды денежных средств. В условиях неопределенности данная тема представляется еще более актуальной, поскольку возрастают риски, увеличиваются обязательства и снижаются доходы.

Из рис. 1. видно, что волатильность индекса РТС 16.12.2014 составила как за 2013 г. в целом. Значение индекса изменялось в диапазоне от 550 до 770 п. Для некоторых компаний этот день стал началом банкротства, хотя в России «черные вторники» происходят в среднем 1 раз в год, и этого следует ожидать. В 2014 г. можно выделить 3–4 «черных дней» фондового рынка, когда происходило резкое падение котировок.

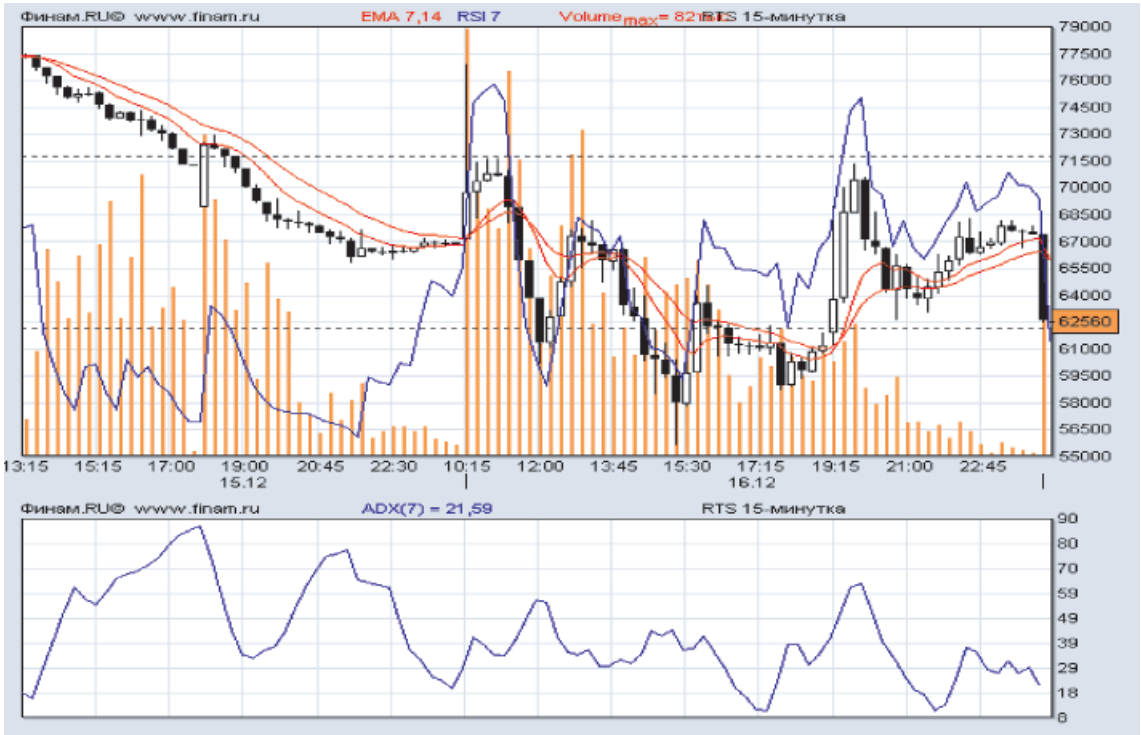


Рис. 1. Волатильность индекса РТС 15 и 16 декабря 2014 г. [12]

Динамика индекса ММВБ 15 и 16 декабря 2014 г. показывает, что за один торговый день индекс снизился практически до годовых минимумов и вырос почти до годовых максимумов. Это означает, что изменялась капитализация компаний, их долги, активы. Но проблема не в том, что такие дни невозможно прогнозировать. Проблема в том, что менеджеры не имеют плана действия на случай форс-мажора и переносят вину в низкокачественном управлении активами на государство, общество, страны Запада и т.д.

Финансовый механизм предприятия – это система управления финансами предприятия, предназначенная для организации взаимодействия финансовых отношений и фондов денежных средств с целью эффективного их воздействия на конечные результаты производства, устанавливаемые государством в соответствии с требованиями экономических законов [6].

Но данное определение не учитывает и не предполагает волатильности финансовых рынков и других современных тенденций. Большинство авторов рассматривают проблему управления финансами как частную проблему управления внутренней средой корпорации либо проблему государства, если хозяйствующий субъект не имеет возможности решить данную проблему. По нашему мнению, любая корпорация должна создать такую систему управления финансовыми ресурсами, которая позволяет более эффективно их использовать и существенно повысить финансовую устойчивость организации. Как показывает практика, это вполне достижимая цель, необходимо хотя бы активнее внедрять диверсификацию и хеджирование.

Финансовый механизм следует рассматривать как совокупность производственно-финансового и инвестиционно-финансового механизмов. При этом финансовая составляющая не нивелируется, а становится важной составляющей для производственной и инвестиционной деятельности.

Если финансовый механизм как понятие и как процесс достаточно подробно исследован отечественными и зарубежными учеными, то инвестиционный механизмом (считаем более корректной формулировкой «инвестиционно-финансовый механизм») не нашел достаточного отражения в современной финансовой литературе.

Управление финансовыми ресурсами в условиях кризисных явлений и волатильности финансовых рынков – основное направление в менеджменте предприятия, поскольку потери фирмы от низкокачественного управления значительнее по сравнению с любыми другими видами ресурсов.

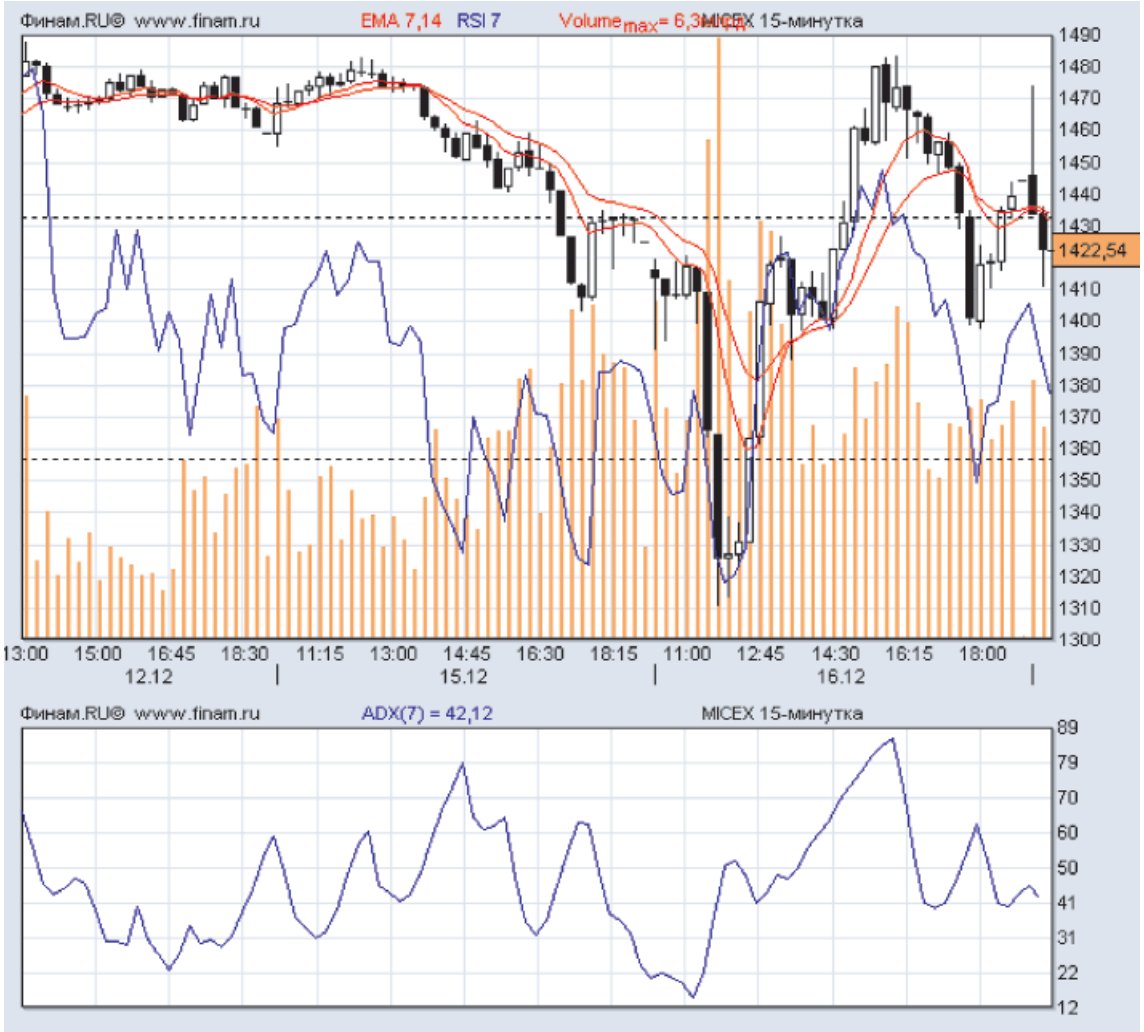


Рис. 2. Динамика индекса ММВБ 15 и 16 декабря 2014 г. [12]

Совершенствование инвестиционно-финансового механизма предприятия в условиях неопределенности [5] – важное направление в деятельности компании. Как показывает действующая практика, управленцы не всегда рассматривают инвестиционный менеджмент как направление повышения финансовой устойчивости. Например, безграмотное управление портфелем акций явилось одной из главных причин санации банка «Траст» в декабре 2014 г.

Формирование эффективной инвестиционной экономики – важнейшая задача для любого государства. Учитывая динамику развития качества финансовых отношений в России, мы считаем, что ее создание возможно не ранее 2020–2025 гг.

Следует учитывать, что в современном мире основу экономики занимают крупные ТНК, при этом в лучшем положении находятся предприятия-олигополисты, имеющие дифференциацию продукта. Это позволяет более эффективно управлять финансовыми ресурсами. В малом и среднем бизнесе создание эффективной системы управления финансовыми ресурсами корпорации априори невозможно.

Прогнозируемость основных показателей на финансовых рынках является низкой; главная проблема – определение времени смены трендов определяется с низкой вероятностью. Примерами в 2014 г. могут являться неожидаемое падение цен на нефть, девальвация рубля, резкий рост геополитических рисков и мн. др.

Тематика принятия управленческих решений, когда финансовые рынки находятся в условиях гэпов [8], изучена недостаточна. Хотя маржин-коллы часто связаны именно с резкой просадкой котировок на открытии торговой сессии.

Придерживаемся мнения, что методологические решения управления финансовыми ресурсами производственных процессов на основе их консолидации и рационализации [7] являются актуальными и востребованными.

Помимо развития нефтегазовой отрасли в России исторически сложились благоприятные условия для развития электроэнергетики и АПК. Учеными изучено влияние финансово-экономических показателей электроэнергетических компаний на их капитализацию [2], проведено исследование влияния макроэкономических факторов на капитализацию компаний электроэнергетики [3]. Основным парадоксом является тот факт, что без электроэнергии не может существовать экономика как таковая, но инвестиции в данную отрасль низкорентабельны (если это прямые инвестиции) и убыточны (если это портфельные инвестиции). Естественно, это приводит к снижению эффективности управления ресурсами как внутри отрасли, так и для инвесторов. А благодаря эффекту мультипликации проблема охватывает всю экономику.

Аналогичная проблема существует в области сельского хозяйства: сформировавшийся рыночный механизм отрицательно воздействует на отрасль, представители органов государственной власти занимаются откровенным формализмом и политиканством. В результате тема рынка фьючерсов и АПК [10] не интересует никого, кроме ученых, которые предлагают готовые алгоритмы действий сельхозменеджеров для повышения эффективности управления финансовыми ресурсами. Да и в целом тема отношений финансовых рынков и АПК [9, 11] не находит должного развития ни в умах чиновников, ни среди топ-менеджмента аграриев. Считаем, что пока в России не будет ни одной голубой фишки, представляющей АПК, сельское хозяйство обречено.

Финансовые рынки представляют невероятные возможности: дешевые финансовые ресурсы, прозрачность компаний, сбыт и мн. др. Но в России, как показывает практика, эти возможности не нужны ни чиновникам, ни практикам. Всех устраивает дотационное положение дел в АПК и дальнейшая деградация села.

Выводы

Подводя итоги, мы выделяем следующие основные результаты нашего исследования:

– управление финансовыми ресурсами в условиях кризисных явлений и волатильности финансовых рынков – основное направление в менеджменте предприятия, поскольку потери фирмы от низкокачественного управления значительнее по сравнению с любыми другими видами ресурсов;

– следует учитывать, что в современном мире основу экономики занимают крупные ТНК, при этом в лучшем положении находятся предприятия-олигополисты, имеющие дифференциацию продукта. Это позволяет более эффективно управлять финансовыми ресурсами;

– прогнозируемость основных показателей на финансовых рынках является низкой; главная проблема – определение времени смены трендов определяется с низкой вероятностью. Примерами в 2014 г. могут являться неожидаемое падение цен на нефть, девальвация рубля, резкий рост геополитических рисков и мн. др.

Список литературы

1. Аношин В.Н., Кещян В.Г., Суетин С.Н. Формирование эффективного инвестиционно-финансового механизма акционерного общества // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 7 (48). – С. 791–794.

2. Антаненкова И.С., Федорова Е.А. Влияние финансово-экономических показателей электроэнергетических компаний на их капитализацию // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2012. – № 40 (130). – С. 36–42.

3. Антаненкова И.С., Федорова Е.А. Исследование влияния макроэкономических факторов на капитализацию компаний электроэнергетики // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2012. – № 4 (104). – С. 25–32.

4. Барчан Н.Н., Суетин А.Н. Формирование эффективной инвестиционной экономики // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (часть 2). – С. 228–231. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002372.

5. Карасев В.А., Суетин А.Н. Совершенствование инвестиционно-финансового механизма предприятия в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11 (часть 4). – С. 719–723. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002460.

6. Никитина Н.В., Янов В.В. Корпоративные финансы: учебное пособие. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 512 с.

7. Стручкова Е.С., Суетин С.Н. Методологические решения управления финансовыми ресурсами производственных процессов на основе их консолидации и рационализации // Научное образование. – 2014. – № 8(2). – С. 688–693.

8. Суетин А.Н. Финансовые рынки в условиях гэпов // Роль финансов в социально-экономическом развитии страны: материалы международной заочной научно-практ. конф. – Ижевск, 2013. – С. 200–202.

9. Суетин А.Н., Суетина Н.А. Финансовый рынок и АПК в современных условиях // Государственное и муниципальное управление: теория, история, практика: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 20 апр. 2012 г. – Ижевск, 2012. – С. 340–341.

10. Суетин А.Н. Рынок фьючерсов и АПК // Наука Удмуртии. – 2012. – № 3. – С. 186–188.

11. Суетин А.Н. Финансовые рынки и АПК // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 14–17 февр. 2012 г. – Ижевск, 2012. – Т. 3. – С. 166–168.

12. Официальный сайт ОАО «Финам» URL: http://www.finam.ru/analysis/charts/default.asp#chartform (дата обращения: 10.01.2015).

References

1. Anoshin V.N., Keshhjan V.G., Suetin S.N. Formirovanie jeffektivnogo investicionno-finansovogo mehanizma akcionernogo obshhestva // Jekonomika i predprinimatel'stvo. 2014. no. 7 (48). pp. 791–794.

2. Antanenkova I.S., Fedorova E.A. Vlijanie finansovo-jekonomicheskih pokazatelej jelektrojenergeticheskih kompanij na ih kapitalizaciju // Finansovaja analitika: problemy i reshenija. 2012. no. 40 (130). pp. 36–42.

3. Antanenkova I.S., Fedorova E.A. Issledovanie vlijanija makrojekonomicheskih faktorov na kapitalizaciju kompanij jelektrojenergetiki // Finansovaja analitika: problemy i reshenija. 2012. no. 4 (104). pp. 25–32.

4. Barchan N.N., Suetin A.N. Formirovanie jeffektivnoj investicionnoj jekonomiki // Fundamental'nye issledovanija. 2013. no. 11 (chast' 2). pp. 228–231. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002372.

5. Karasev V.A., Suetin A.N. Sovershenstvovanie investicionno-finansovogo mehanizma predprijatija v uslovijah neopredelennosti // Fundamental'nye issledovanija. 2013. no. 11 (chast' 4). pp. 719–723. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002460.

6. Nikitina N.V., Janov V.V. Korporativnye finansy: uchebnoe posobie. 3-e izd., ster. M.: KNORUS, 2013. 512 p.

7. Struchkova E.S., Suetin S.N. Metodologicheskie reshenija upravlenija finansovymi resursami proizvodstvennyh processov na osnove ih konsolidacii i racionalizacii // Nauchnoe obrazovanie. 2014. no. 8(2). pp. 688–693.

8. Suetin A.N. Finansovye rynki v uslovijah gjepov // Rol' finansov v social'no-jekonomicheskom razvitii strany: materialy mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakt. konf. Izhevsk, 2013. pp. 200–202.

9. Suetin A.N., Suetina N.A. Finansovyj rynok i APK v sovremennyh uslovijah // Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie: teorija, istorija, praktika: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 20 apr. 2012 g. Izhevsk, 2012. pp. 340–341.

10. Suetin A.N. Rynok f'juchersov i APK // Nauka Udmurtii. 2012. no. 3. pp. 186–188.

11. Suetin A.N. Finansovye rynki i APK // Innovacionnomu razvitiju APK i agrarnomu obrazovaniju nauchnoe obespechenie: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 14–17 fevr. 2012 g. Izhevsk, 2012. T. 3. pp. 166–168.

12. Oficial'nyj sajt OAO «Finam» URL: http://www.finam.ru/analysis/charts/default.asp#chartform (data obrashhenija: 10.01.2015).

Рецензенты:

Кузьминова Т.В., д.э.н., профессор, НОУ ВО «Московский технологический институт», г. Москва;

Тяпухин А.П., д.э.н., профессор, Московская бизнес-школа, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 658.336

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА

Черновалова Г.А.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: g-chernovalova@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы динамики развития современной экономики и ключевых факторов формирования устойчивого развития предприятия, представлены стратегические действия устойчиво развивающихся организаций, определены место и роль персонала в организации, представлена модель развития и управления персоналом на предприятии, определена роль механизмов управления развитием персонала, проведен анализ использования в научной литературе понятий «инфраструктура» и «инфраструктурный механизм управления развитием персонала», представлен авторский взгляд понятия «инфраструктурный механизм управления развитием персонала», сформированы основные цели и задачи инфраструктурной системы управления инновационным развитием персонала, представлен интегрированный центр компетенций как координационный центр взаимодействия вуз – предприятие, определены его цели и задачи, обозначена роль вуза в управлении инновационным развитием персонала в организации и создании особой среды и корпоративной культуры для быстрого его развития.

Ключевые слова: факторы устойчивого развития предприятия, модель развития и управления персоналом, инновационное развитие персонала, инфраструктура, инфраструктурные механизмы, интегрированный центр компетенций

INTEGRATED COMPETENCE CENTER OF ENTERPRISE AS INFRASTRUCTURE MANAGEMENT MECHANISMS OF STAFF INNOVATIVE DEVELOPMENT

Chernovalova G.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: g-chernovalova@yandex.ru

The article deals with the dynamics of the modern economy and the key factors issues of enterprises sustainable development, presents the strategic actions steadily growing organizations, the place and role of staff in the organization, model of staff development and management is presented. Also was defined the role of management mechanisms of staff innovative development. Analyzed the use of the scientific literature the terms of «infrastructure», «infrastructure management mechanisms of staff i development». Presents the author's view of the concept «infrastructure management mechanisms of staff i development». The main goals and tasks of infrastructure management system of innovative staff development were formed. Integrated competence center as focal point for cooperation University-enterprise was presented. Also were defined its goals and tasks, defines the role of the university in the management of innovative development of staff in the organization and creating a special environment and corporate culture for its rapid development.

Keywords: factors of sustainable development of enterprise, model of personal development and management, innovation staff development, infrastructure, infrastructure mechanisms, integrated competence center

Динамика развития мировой экономики XXI века определяется сложившимся постиндустриальным характером производства, который отличается от предыдущих этапов развития наличием и способностью эффективно использовать нематериальные активы при производстве материальных благ. Основными факторами устойчивого развития предприятия, повышающими его конкурентоспособность в современных условиях, становятся масштаб использования нового знания, ключевые компетенции и квалификация персонала, темпы внедрения передовых технологий и методов управления.

Предприятие является сложной системой, включающей подсистемы и инфраструктуры, от степени их слаженности, своевременности комплексного реагирования на изменения внешней и внутренней среды зависит устойчивое положение предприятия в экономической среде. Закономерности современного этапа экономического развития (глобализация, интеграция, усиление конкуренции, истощение природных ресурсов и др.), усиление взаимозависимости хозяйствующих субъектов дают синергетический экономический эффект. Следовательно, формирование механизмов устойчивого развития предприятия должно находиться в центре внимания как самого предприятия, так и государства в целом [2].

Для сбалансированного и устойчивого функционирования организации должны уметь выявлять возможные угрозы и реагировать на них быстро и эффективно.

Именно поэтому они декларируют следующие «идеальные» действия:

● Используют подходящие инструменты для идентификации изменений во внешнем окружении с последующей разработкой возможных сценариев для организации.

● Переводят свои стратегии в согласованные процессы, проекты и организационные структуры, обеспечивая возможности своевременной реализации изменений по всей цепочке создания ценности.

● Устанавливают набор значимых индикаторов процессов и их результатов для анализа эффективности и результативности ключевых процессов и их вклада в достижение стратегических целей.

● Используют данные по текущим результатам и возможностям своих процессов а также сравнения с подходящими бенчмарками для стимулирования творчества, инноваций и улучшений.

● Эффективно управляют изменениями, используя проектный менеджмент и целенаправленное улучшение процессов.

● Быстро адаптируют свою организационную структуру для достижения стратегических целей.

● Оценивают и развивают портфель технологий для повышения гибкости процессов, проектов и самой организации.

Современные предприятия, ставящие перед собой стратегические цели долгосрочного развития, постоянно ищут пути усовершенствования своей деятельности и наиболее рационального использования всех видов ресурсов, находящихся в их распоряжении. Они осознают, что самым важным и сложно управляемым ресурсом на предприятии является его персонал.

Персонал в организации, с одной стороны, выступает как необходимый ресурс предприятия для его инновационного развития, с другой стороны, как субъект, который приводит в производственное движение все факторы конкурентоспособности предприятия, т.е. персонал является определяющим фактором его конкурентоспособности.

Система управления персоналом является непременной составляющей управления и развития любой организации, она является объективной, т.к. возникает с момента возникновения самой организации и независимо от чьей-то воли. Являясь, по сути, одной из важнейших подсистем организации, система управления персоналом определяет успех ее развития.

Осознавая ключевую роль влияния системы управления персоналом на процесс формирования устойчивого развития предприятия, специалисты создают различные модели управления персоналом на предприятии и разрабатываются механизмы его управления.

В общем виде модель формирования системы развития и управления персоналом на предприятии выглядит следующим образом (авторский взгляд) (рис. 1).

Многие исследователи сходятся во мнении, что при формировании системы управления развитием персонала в организации в соответствии с ее стратегическими целями и задачами необходима разработка и внедрение специальных инфраструктурных механизмов, носящих системный характер и обладающих необходимыми существенными свойствами, определяющими результативность нужного уровня развития персонала в организации.

Разработке инфраструктурных механизмов управления персоналом отводится значимая роль во всем мире и передовых корпорациях. Инфраструктурные системы обладают сложившимися компетенциями в функциональных сферах, обеспечивают масштабные эффекты, гибко и быстро реагируют на потребности экономической системы и факторы внешней среды, формируют механизмы решения проблем организаций, составляющих структуру экономики. Вместе с тем сложность задач развития персонала и современное состояние инфраструктурных механизмов требуют управленческого вмешательства, направленного на совершенствование имеющихся инфраструктурных механизмов управления развитием персонала и экономических систем.

Анализ исследований показывает, что в качестве инфраструктурных механизмов управления инновационным развитием персонала выступают отдельные инфраструктурные компоненты и реализуемые ими функции со слабо выстроенными взаимосвязями и отношениями между собой и с элементами экономической системы. Чаще всего элементы управления рассматриваются с точки зрения совершенствования отдельных технологий и процессов в управлении развитием персонала, или с позиции влияния управления персоналом на развитие организации.

Между тем системная природа самого управления персоналом и включенность управления персоналом в более сложную систему управления организацией диктует необходимость взаимоувязки всех элементов систем при реализации новых форм и методов управления персоналом.

Необходимо формировать и встраивать в организациях инфраструктурные механизмы управления развитием персонала как целостные системы, которые удовлетворяют всем системным признакам, таким как относительная устойчивость во времени

и наличие тесных связей между внутренними и внешними элементами, инициирующим процессы внутреннего интеллектуального потенциала организации: самоорганизация, самопланирование, саморегулирование, и отражающие отношения организации с внешней средой: адаптивность, гибкость, совместимость, автономность, иерархичность, безопасность и надежность.

Следовательно, системность отражает целостность инфраструктуры по отношению к результатам ее функционирования, а формирование и функционирование инфраструктурных механизмов, являющихся, по сути, способом деятельности всей инфраструктуры организации, невозможно рассматривать отдельно и вне нее самой.

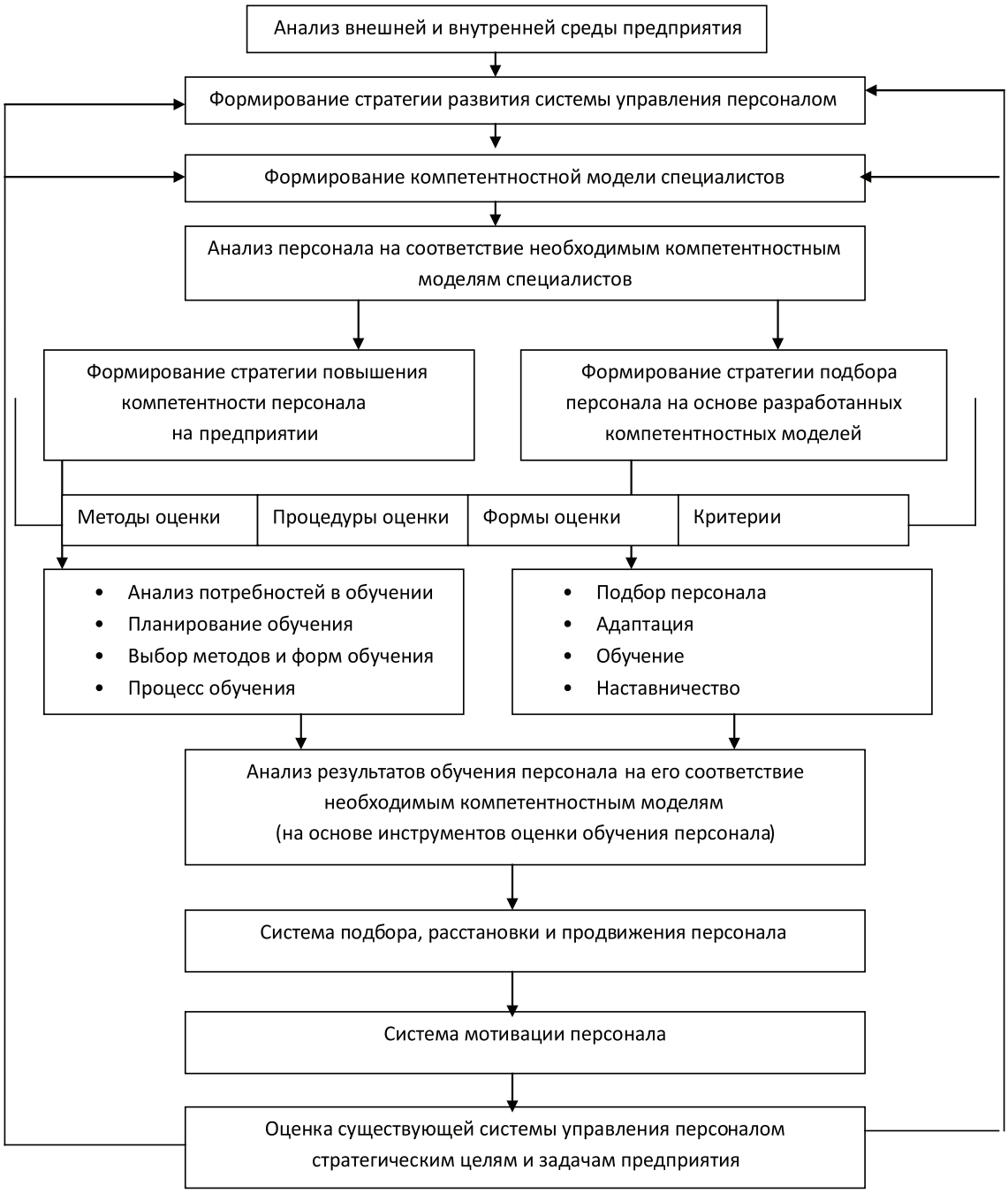


Рис. 1. Модель формирования системы развития и управления персоналом на предприятии

В научной литературе существует ряд понятий в определении инфраструктуры. А именно:

Инфраструктура – это совокупность подсистем, отраслей, выполняющих определенные функции [7].

Инфраструктура – это системы взаимосвязей организаций инфраструктуры и порядок их взаимодействия [5].

Инфраструктура – это комплекс организационно-экономических институтов, непосредственно обеспечивающих условия реализации инновационных процессов хозяйствующими субъектами на основе принципов экономической эффективности [1].

Инфраструктура – это «фундаментальный слой региональных и городских систем, создающий ресурсные предпосылки экономического роста», «ядро» общественного сектора экономики» [6].

Инфраструктура – это «любая общая часть двух или нескольких функционально различных процессов», где число таких процессов определяет «степень инфраструктурности системы» [4].

В целом, понимая инфраструктуру как часть экономической системы, обеспечивающей условия функционирования структурных элементов данной системы и протекающих в ней процессов, а инфраструктурные механизмы как «рабочее устройство», «способ», посредством которого инфраструктурой реализуется ее функция относительно структуры, и ориентируясь на цель разработки и внедрения инфраструктурных механизмов как системы управления развитием персонала с учетом основных принципов системного подхода: целостность, совместимость элементов целого, функционально-структурное строение целого, развитие, структуризация, множественность, – мы говорим о необходимости использования понятия «инфраструктурный механизм управления развитием персонала»

Понятие инфраструктурного механизма управления развитием персонала мы определяем как организационную систему, обеспечивающую условия эффективного управления развитием персонала в организации с целью выявления и повышения необходимых организациям компетенций персонала в соответствии с ее стратегическими целями и задачами.

В данном случае инфраструктурные механизмы представляют собой организационную систему на основе факторов и ресурсов, находящихся во взаимосвязи друг с другом, и, как единая система, обладающая дополнительным качеством, поскольку целая система на основе взаимосвязанных частей обладает дополнительными свойствами, которых нет у составляющих ее частей по отдельности, что дает синергетический эффект, влияющий на процессы управления развития персонала организации.

Перед предприятиями стоит задача создания системы управления инновационного развития персонала, т.е. более быстрого и эффективного развития персонала в соответствии со стратегическими целями и задачами, стоящими на предприятии. Это возможно за счет создания необходимой среды, обеспечивающей необходимую компетенцию персонала, его вовлеченность и приверженность к компании, а также создания необходимой инфраструктуры, позволяющей комплексно решать поставленные задачи.

Один из специалистов по управлению знаниями, Лейф Эдвинсон, писал, что «именно структура организации представляет собой то, что позволяет работникам, оперирующими знаниями, использовать свои таланты как рычаг» [3]. Важно показать, как система управления с учетом реальных возможностей рыночной экономики может создавать условия для получения необходимых новых знаний, используя в этих целях покупку знаний, аренду знаний, способы развития знаний, корпоративную культуру.

В связи с этим основными целями инфраструктурной системы управления инновационным развитием персонала для обеспечения высокой конкурентоспособности организации должны являться следующие:

- Увеличение скорости и качества подготовки персонала для инновационной деятельности.
- Обеспечение максимальной вовлеченности персонала в процесс инновационного саморазвития.
- Формирование оптимальной мотивации персонала для обеспечения его высокой работоспособности и результативности.

Создание системы непрерывного формирования инновационного развития персонала на основе его максимальной вовлеченности, увеличения качества и уменьшения скорости подготовки для инновационной деятельности, а также оптимальной мотивации персонала предполагает набор информационно-инфраструктурных механизмов, запускающих трансформацию инновационного развития персонала и обеспечивающих глубокую функциональную стабильность с элементами самоорганизации.

Для реализации вышеобозначенных целей основными задачами инфраструктурных механизмов управления инновационным развитиям персонала являются следующие:

- создание корпоративной культуры (ценностной основы) инициации инновационной активности персонала;

● обеспечение благоприятных условий непрерывного воспроизводства инновационного развития персонала;

● формирование оптимального соотношения видов и форм образовательной активности.

Таким образом, применение системного подхода при моделировании инфраструктурных механизмов управления инновационным развитием персонала позволит увязать в единую систему организационные и ресурсные факторы формирования условий управления инновационным развитием персонала и повысить конкурентоспособность организаций за счет воспроизводства инновационной активности персонала и налаживания в организации инновационных процессов.

Задача достижения необходимого для организаций уровня инновационного развития персонала в соответствии со стратегическими целями развития организации может быть достигнута при взаимодействии всех заинтересованных сторон как внутри организации, так и институтов, консолидирующих и воспроизводящих знания, инструменты и механизмы формирования необходимого воспроизводства и управления нужных инновационных компетенций персонала. Данная интеграция возможна при объединении усилий в формировании в организациях процессов конструирования модели управления инфраструктурных механизмов управления инновационным развитием персонала на основе понимания единой цели в достижении совместного результата.

Целью моделирования инфраструктурных механизмов управления является формирование концептуальной основы для организации взаимодействия всех взаимовлияющих и взаимозаинтересованных сторон, участвующих в управлении инновационного развития персонала. В качестве задачи моделирования обозначено выявление всех структурных и внешних элементов и механизмов, обеспечивающих результативное функционирование инфраструктурных механизмов.

Одним из возможных видов инфраструктурного механизма управления инновационным развитием персонала в организации может являться Интегрированный центр компетенций, представленный автором как система интегрированных структур взаимодействия вузов и предприятий (рис. 2).

Интегрированный центр компетенций является связующим звеном консолидации вузов и предприятий, позволяющим формировать компетентностные модели специалистов различного уровня управления в компании и создавать сбалансированные модели используемых для этих целей методов и инструментов информационно-инфраструктурных механизмов управления инновационным развитием персонала.

Основными целями интегрированного центра компетенций являются следующие:

● Подготовка специалистов необходимых компетенций разного уровня управления.

● Координация взаимодействий вуз-предприятие.

● Управление инновационным развитием персонала.

Сигналом, или инициирующим началом включения вузов как субъектов в трансформационные процессы управления инновационным развитием персонала, выступает факт консолидации в вузах научных и исследовательских центров, новейших техник и методик, баз данных и знаний, исследовательских лабораторий, научных деятелей и инициаторов инноваций. Именно вузы формируют компетентностную модель выпускника, а управляя вариативной частью образовательных программ, могут формировать по заказу предприятий необходимую им компетентностную модель, дополняя ее, помимо образовательной программы, различными методами и инструментами, представленными выше.

Организации на основе стратегических целей и задач имеют возможность сформировать нужную для них компетентностную модель молодых специалистов и осуществляют стратегический заказ внешним партнерам – вузам в виде знаниевой и навыковой составляющей в зависимости от квалификации будущего специалиста. В этом случае молодой специалист в организации наращивает свои компетенции в более сжатые сроки и, участвуя в программе подготовки для предприятия в вузе, имеет более высокую мотивацию, основанную на высокой включенности и целеполагании, высокой лояльности и приверженности к компании.

Для формирования необходимой организации компетентностной модели специалиста различного уровня управления необходима особая среда, индивидуальный набор методов и инструментов инфраструктурных механизмов управления. В решении этих задач и отводится основная роль Интегрированному центру компетенций, позволяющему сформировать на предприятии особую среду и корпоративную культуру для более быстрого развития персонала, повышения его лояльности и приверженности, а также подобрать наиболее оптимальный набор механизмов развития и управления персоналом на всех его этапах, обозначенных на рис. 2.

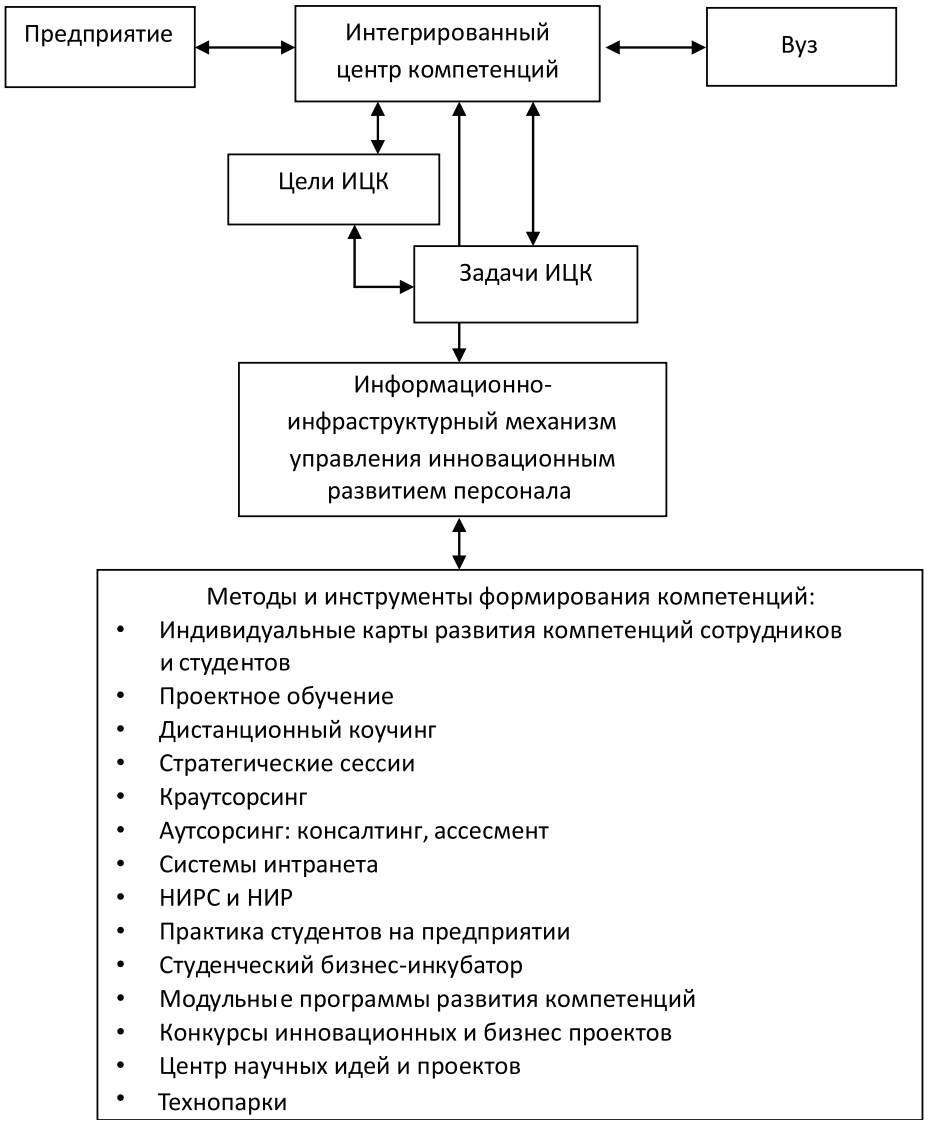


Рис. 2. Интегрированный центр компетенций, как система интегрированных структур взаимодействия вузов и предприятия

Инфраструктурные механизмы управления инновационным развитием персонала в организациях позволяют сформировать адаптивную модель развития личностных и профессиональных качеств персонала, трансформируя их на более высокие уровни управления в короткие сроки, с высоким качеством и наименьшими затратами, обеспечивая высокую вовлеченность персонала в процесс инновационного саморазвития.

В этом случае интегрированный центр компетенций решает следующие задачи:

● Формирование компетентностной модели специалистов.

● Оценка, анализ и корректировка их развития.

● Анализ изменения внутренней и внешней среды.

Указанные цели и задачи интегрированного центра компетенций на основе используемых методов и инструментов инфраструктурных механизмов управления инновационным развитием персонала являются механизмом формирования концептуальной основы в управлении инновационного развития персонала посредством и обязательными условиями формирования необходимой результативности взаимодействия всех взаимовлияющих структур в вопросах управления инновационного развития персонала в организации.

Интегрированный центр компетенций позволяет создать условия для интенсивного развития инновационной деятельности и повысить возможности предприятия, более эффективно управляя переменами как внутри организации, так и за ее пределами.

В настоящее время сохраняется высокая неопределенность при внедрении передовых инновационных технологий и эффективного формирования и использования интеллектуальных капиталов организаций, что связано с необходимостью выявления комплекса методов и механизмов инновационного развития российских организаций. Это объясняется, во-первых, наличием множества факторов, оказывающих влияние на инновационный процесс; во-вторых, отсутствием единой политики, реализованной в системе федеральных и региональных законодательных актов; в-третьих, недостаточно достоверными статистическими данными об инновационной деятельности; в-четвертых, нестабильностью экономической среды и недостаточным опытом работы систем управления и развития персонала в условиях инновационной экономики. Следовательно, моделирование и управление внедрением механизмов формирования инновационного развития персонала и организаций в российских организациях в нестабильной социально-экономической среде является актуальной и сложной задачей.

Список литературы

1. Балакирева О.В. Оценка и планирование развития инновационного потенциала региона с использованием балансовых моделей: дис. к-та экон. наук. – Ростов-на-Дону, 2005. – 126 с.

2. Зингер О.А. Комплексная оценка устойчивого развития промышленного предприятия // Вестник ИНЖЭКОНА. – 2010. – № 2. – С. 373–378.

3. Лейф Эдвинсон «Корпоративная долгота. Навигация в экономике, основанной на знаниях». – М.: ИНФРА-М, 2005. – С. 122.

4. Никаноров С.П. Необходимость и направления уточнения понятия «инфраструктура» // Никаноров С.П. Много всего разного… Идеи. Мысли. Выводы. 1995–2008: Сб. публ. / сост. А.В. Никитин. – М.: Концепт, 2008.

5. Палкина М.В., Ноговицина О.С. Инфраструктурное обеспечение инновационного развития промышленного комплекса региона // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Сер. Экономика. – Тамбов, 2009. – Вып. № 10 (24).

6. Пчелинцев О.П., Арянин А.Н., Минченко М.М. Региональные аспекты развития социально-экономической инфраструктуры в России // Научные труды ИНП РАН. – М., 2006. – С. 512, 527.

7. Рощина И.В., Рощина Г.С. Многоуровневая инновационная инфраструктура региона как условие эффективной региональной политики // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 327. – С. 161.

References

1. Balakireva O.V. Otsenka I planirovanie razvitiya innovatsionnogo potentsiala regiona s ispolzovaniem bakansovykh modeley: dis.k-ta ekon. nauk. Rostov-na-Donu, 2005. 126 p.

2. Zinger O.A. Kompleksnaya otsenka ustoychivogo razvitiya promyshlennogo predpriyatiyz. Vestnik INZHEKONA. 2010. no. 2. pp. 373 378.

3. Leyf Edvinson «Korporanivnaya dolgota. Navigatsiya v ekonomike, jsnovannoy na znaniyakh». M.: INFRA-M, 2005. pp. 122.

4. Nikanorov S.P. Neobkhodimost i napravleniya utochneniya ponyatiya «infrastruktura» // Nikanorov S.P. Mnogo vsego raznogo…Idei. Mysli. Vyvody. 1995–2008: Sb. Publ. / Sost. A.V. Nikitin. M.: Kontsept, 2008.

5. Palkina M.V., Nogovitsina O.S. Infrastrukturnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya promyshlennogo kompleksa regiona // Voprosy sovremennoy nauki I praktiki. Universitet im. V.I.Vernadskogo. Ser. Ekonomika Tambov, 2009 g. Vyp. no. 10 (24).

6. Pchelintsev O.P., Aryanin A.N., Minchenko M.M. Regionalnye aspekty razvitiya sotsialno-ekonomicheskoy infrastruktury v Rossii // Nauchnye trudy INP RAN. M., 2006. pp. 512, 527.

7. Roschina I.V., Roschina G.S. Mnogourovnevaya innovatsionnaya infrastruktura regiona kak uslovie effektivnoy regionalnoy politiki // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. no. 327. pp. 161.

Рецензенты:

Гершанок Г.А., д.э.н., профессор, декан факультета менеджмента и бизнеса, Институт повышения квалификации «Региональный межотраслевой центр переподготовки кадров», г. Пермь;

Шапошников В.А., д.э.н., доцент, зав. кафедрой менеджмента, Российский государственный профессионально-педагогический университет, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.

УДК 334.71 (574)

РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Шувалов В.А.

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва;
ТОО «Октан ВР», Караганда, e-mail: shuvalov.valeriy@gmail.com

Республика Казахстан реализует новую индустриальную политику, вторая пятилетка которой приходится на 2015–2019 годы. Рост экономики Республики Казахстан во многом определяется региональной инновационной политикой, базирующейся на принципах партнерства государства и бизнеса. В статье приводятся некоторые результаты анализа инновационной деятельности одного из ведущих регионов Казахстана в 2010–2013 гг. Автор акцентирует внимание на формировании региональной инновационной инфраструктуры, возрастании роли разработки и совершенствования механизмов взаимодействия власти и бизнеса. Показана роль государственного регулирования инновационных процессов на региональном уровне. Приведены конкретные результаты от использования различных инструментов, поддерживающих инновационную деятельность региона. Выявлены проблемы организационно-экономического механизма инновационной среды Карагандинского региона. Сформулированы приоритетные задачи управления региональной инновационной системой. Акцент сделан на активизации работ по созданию региональных опорных зон национальной инновационной системы.

Ключевые слова: Республика Казахстан, Карагандинский регион, инновационная деятельность, государственное регулирование, инфраструктура

ROLE OF THE STATE IN FORMING REGIONAL INNOVATION INFRASTRUCTURE

Shuvalov V.A.

Russian Academy of national Economy and Governmental Service at the RF President, Moscow;
LLP «Oktan VR», Karaganda, e-mail: shuvalov.valeriy@gmail.com

The Republic of Kazakhstan realizes a new industrial policy, which second five-year plan falls on 2015–2019. The growth of the Republic of Kazakhstan economy is mainly defined by its regional innovation policy based on the principles of the partnership between the state and business. In the paper there are presented the results of analyzing the innovation activities of one of the leading Kazakhstan regions within the period of 2010–2013. The author pays special attention to the forming of the regional innovation infrastructure, growing role of the development and improvement of the mechanisms of the authorities and business interaction. There is shown the role of the governmental regulation of innovation processes at the regional level. There are presented concrete results of using various instruments supporting the region innovation activities. There are revealed the problems of organizational-economic mechanism of the Karaganda region innovation environment. There are formulated the priority tasks of managing the regional innovation system. The accent is made on the activation of works for the development of regional reference zones of the national innovation system.

Keywords: Republic of Kazakhstan, Karaganda region, innovation activities, governmental regulation, infrastructure

За первые годы новой индустриальной политики (2010–2013) в Казахстане создана инфраструктура, с помощью которой поддерживаются инновации как на государственном, так и на региональном уровнях. Она включает Национальный инновационный фонд, фонд Науки, венчурные фонды, технологические парки, размещенные в регионах, конструкторские бюро, представляющие несколько ведущих отраслей промышленности. В стране открыты 8 технопарков, 21 офис коммерциализации и 5 региональных офисов, оказывающих помощь по доведению до стадии внедрения результатов научно-технической деятельности; 2 международных центра, обеспечивающих передачу накопленного опыта, полученных знаний, новых технических решений различным организациям, занимающимся инновационной деятельностью [8].

В стране используются различные инструменты, с помощью которых оказывается поддержка инновационной деятельности всем хозяйствующим субъектам. Это гранты на инновационные проекты, широкий спектр услуг технологического бизнес-инкубирования (ТБИ), всевозможные виды услуг, оказываемых офисами коммерциализации [6].

Особенно усилилась поддержка со стороны государства предприятиям, занятым в сфере инноваций, в 2010–2011 гг. Именно в эти годы возросло число предприятий, участвующих в ежегодном конкурсе Министерства индустрии и новых технологий РК

на получение грантового финансирования, которое является одним из сервисных инструментов поддержки инноваций. Инновационно активным предприятиям была предоставлена возможность направлять ведущих инженеров на повышение квалификации за рубежом, приглашать иностранных специалистов, пользоваться услугами консалтинговых, проектных и инжиниринговых организаций, получать финансирование на внедрение современных управленческих и производственных технологий, проведение промышленных исследований, приобретение и коммерциализацию прогрессивных технологий.

В 2010 г. государством было предоставлено 4 вида инновационных грантов на опытно-конструкторские работы, технико-экономическое обоснование проектов, патентование и приобретение технологий. В 2011 г. по инновационным грантовым программам выделено 50 млн долл. США в рамках программы «Производительность 2020», направленной на повышение конкурентоспособности промышленных предприятий в приоритетных секторах экономики путем увеличения производительности труда [7].

В этот же период впервые запущена программа по ТБИ в технопарках регионов – государственному инструменту помощи инноваторам по вновь создаваемым или уже функционирующим инновационным предприятиям. Программой предусматривается оказание безвозмездных услуг по созданию и развитию предприятий, предоставляющих весь спектр услуг бизнес-инкубирования. В программе ТБИ увеличено финансирование на поддержку одного проекта: если сравнить с 2011 г., когда средняя сумма, выделяемая на один проект, составляла 6,5 млн тенге, в 2012–2013 гг. уже планировалось 26 млн тенге на два года.

Перед технопарками поставлена задача – обеспечить благоприятные условия для коммерциализации научных разработок путем предоставления в пользование инициаторам инновационных проектов производственных площадей, оказания им коллективных бизнес-услуг, обеспечение благоприятных условий для коммерциализации научных разработок. Технопарки позволят в будущем реализовать программу ТБИ, вести поиск перспективных региональных проектов с последующим доведением их до внедрения в производство с обеспечением роста технологических компетенций. Объединить технопарки в единую сеть планируется с помощью стартапов.

С целью доведения научно-технических результатов до стадии производственных процессов, а опытных разработок – до стадии внедрения, в 2013 г. по бюджетным программам была оказана поддержка офисам коммерциализации, функционирующим в различных подразделениях высших учебных заведений и НИИ различных регионов страны по ключевым направлениям. Это помощь организационного характера; качественный отбор инновационных проектов, претендующих перейти на стадию коммерциализации; финансовая помощь в оплате предоставляемых услуг; проведение обучающих семинаров и консультаций для персонала центров, оказывающих услуги по выбору инструментов и направлений коммерциализации, защите авторских прав на различные формы использования полученных результатов интеллектуальной деятельности и т.д.

Активно формируется инновационная инфраструктура одного из ведущих промышленных регионов Казахстана – Карагандинского региона, где первенство среди отраслей отдано угольной и химической промышленностям, производству строительных материалов, черной и цветной металлургии, энергетике, машиностроению и сельскому хозяйству. В опорных отраслях промышленности запланировано создание инновационных кластеров [3].

В 2010 г. на принципах партнерства государства и бизнеса в целях дальнейшего социально-экономического развития региона была создана социально-предпринимательская корпорация (СПК) «Сарыарка». В будущем она станет региональным институтом развития, на который будет возложена ответственность за управление активами, достижение роста активности бизнеса, внедрение инноваций и, что немаловажно, кластеризацию бизнеса. В настоящее время важнейшим направлением её деятельности является вывод на запланированную мощность инновационных проектов в градообразующих отраслях, что составляет порядка 60 % от всех проектов СПК.

СПК «Сарыарка» проводит большую работу по созданию инновационного фонда в регионе. В дальнейшем ему будет принадлежать ключевая позиция в финансировании инновационных проектов. Также корпорация планирует открытие R&D центров, где представители бизнеса, научной среды, градообразующих предприятий будут рассматривать инновационные проекты.

Одним из актуальных и основных проектов корпорации является разведка и добыча метана из угольных пластов Карагандинского угольного бассейна. Для Карагандинского региона, где сосредоточена основная масса запасов углей Казахстана,

развитие технологий и начало промышленной добычи угольного метана имеют глобальное значение – это обеспечение, прежде всего, безопасности при добыче угля.

На конец 2014 г. 53 предприятий, работающих на территории СПК, имели годовой объем производства 94 млрд тенге. Планируется создать в ближайшие два года 3900 постоянных рабочих мест, а к 2020 г. – 5 тысяч постоянных рабочих мест с привлечением порядка 300 млрд тенге инвестиций.

В целях дальнейшего становления и увеличения вклада в индустриальное развитие Карагандинского региона его базовых отраслей в 2011 г. на базе Индустриального парка «Металлургия – Металлообработка» была создана специальная экономическая зона (СЭЗ) «Сарыарка», объем инвестиций в которую составил 145 млрд тенге. Основные её цели – привлечение прямых иностранных инвестиций, передовых мировых технологий и развитие высокотехнологичных отраслей экономики [4].

Для привлечения инвесторов и создания новых производств на СЭЗ «Сарыарка» проводятся работы по актуализации всех зарегистрированных там участников для обеспечения более качественного отбора проектов на её территорию. В 2015 г. планируется завершение строительства её инфраструктуры.

В последние годы в регионе активизируется инновационная и инвестиционная деятельность по формированию портфеля инвестиционных проектов, в который войдут как проекты с участием государства (СПК, СЭЗ и государственно-частное партнерство (ГЧП)), так и реализуемые за счет частных инвестиций.

Технопарк Карагандинского региона способствует распространению наиболее приемлемых условий для создания инноваций на всех уровнях путем непрерывного развития высокоэффективной инновационной среды. За 2010–2013 гг. на рассмотрение в технопарк были поданы 70 проектов, из которых 28 (40%) были профинансированы. С деятельностью технопарка связаны возможности улучшения условий, в которых будет активизироваться инновационная деятельность региона. Достичь этого можно за счет внедрения механизма, нацеленного на всемерную поддержку и активное продвижение инновационных разработок, коммерциализации технологий, маркетинговых исследований. Кроме того, технопарк ориентирован в будущем развиваться как региональный центр, способствуя расширению масштабов новых технологий и знаний.

Преобладающим курсом в работе регионального технопарка является развертывание различных направлений ТБИ и управление научными и инновационными проектами. По результатам 2014 г. в технопарке рассмотрены 37 из 119 инновационных проектов, предложенных 23 предприятиями, 3 проекта финансируются АО «Фонд науки», по 7 проектам завершаются подготовительно-заключительные мероприятия.

Согласно программе ТБИ за 2012–2013 гг. в регионе получили финансирование 6 инновационных проектов, половина из которых внедрена в производство, в 2013 г. также 3 проекта получили финансирование, но пока они находятся на стадии проведения опытных и промышленных испытаний.

Карагандинский регион, где разработан план по развитию региональной инновационной системыы (РИС), до 2017 г. накопил определенный интеллектуальный потенциал, что делает возможной реализацию инновационные проекты. В регионе разработаны программы развития инноваций, однако финансирование мероприятий по развитию инноваций из местного бюджета пока не предусмотрено [1].

К первостепенным задачам управления РИС относится достижение совмещения предприимчивости, рыночной независимости с координацией инновационной деятельности со стороны государства. В 2015–2019 гг. ядром новой индустриальной политики станет создание инфраструктуры по семи доминирующим направлениям. В 2015 г. в регионе должно быть завершено формирование эффективной региональной системы, позволяющей инициировать и привлекать инновации [2]. Требуется усиление работы по коммерциализации инновационных проектов, разработке предложений по развитию РИС, интеграции работы ученых с промышленными предприятиями.

Предприятия ведущих отраслей смогут получить существенные льготы, среди которых новая ставка по налогу на добавленную стоимость, отмена арендной платы за землю, отмена корпоративного подоходного налога. Для предприятий одним из дополнительных резервов развития является участие в государственных и отраслевых программах, объем финансирования по которым составляет 98 млрд тенге.

Для бизнеса важную роль играет программа развития моногородов, ведь в моногородах Карагандинского региона трудятся 35% субъектов малого и среднего бизнеса, проживает 40% населения, а доля в объеме промышленного производства региона составляет 70% [5]. По программе развития моногородов в 2014 г. реализованы 77 проектов на 3,4 млрд тенге. Набирают силу

якорные проекты, позволяющие городам избавиться от мононаправленности.

Основу организационно-экономического механизма инновационной среды Карагандинского региона составляет внутренняя среда. Она представлена инновационным циклом в рамках предприятия/фирмы/корпорации и инновационным процессом в рамках всей системы. Также важную роль играет внешняя среда, в которую входят компоненты: научная сфера, институты развития, система государственного участия в экономических процессах, совокупность внешних по отношению к данному предприятию фирм.

Анализ показывает наличие проблем в функционировании организационно-экономического механизма, который при всей своей ориентированности на достижение максимального эффекта содержит ряд недостатков: слабое развитие ГЧП между местными органами власти и бизнес-структурами; недостаточный уровень взаимодействия между инновационной инфраструктурой различных уровней; отсутствие целого ряда механизмов развития инновационной деятельности предприятий.

Перед государством стоит важнейшая задача по переводу экономики на инновационный путь, возрастает роль разработки и совершенствования механизмов взаимодействия власти и бизнеса по формированию РИС, усилению государственного регулирования инновационных процессов на региональном уровне.

В настоящее время активизируются работы по созданию региональных опорных зон национальной инновационной системы. С началом функционирования РИС повысятся возможности решения разного рода проблем инновационного характера на региональном уровне с вовлечением представителей бизнеса. Перемены, вносимые в политику Казахстана на региональном уровне, помогут создать более выгодные условия для движения в сторону укрепления конкурентоспособности каждого региона, расширят возможности государства в вопросах рационального распределения ресурсов, формирования таких регионов, которые стали бы в ближайшем будущем опорой для продвижения в направлении роста занятости на региональном уровне.

Список литературы

1. Ведомственный план по развитию и внедрению инноваций Карагандинской области на 2012–2014 годы. Утвержден постановлением акимата Карагандинской области № 46/19 от 26 декабря 2011 г.

2. План по созданию и развитию региональной инновационной системы Карагандинской области на 2013–2017 годы. Утвержден постановлением акимата Карагандинской области № 35/27 от 12 августа 2013 г.

3. Постановление Акимата Карагандинской области № 23/08 от 26 апреля 2013 г. об утверждении Научно-технического совета по развитию инновационных кластеров Карагандинского региона.

4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 октября 2010 г. № 1145 «Об утверждении Программы по привлечению инвестиций, развитию специальных экономических зон и стимулированию экспорта в Республике Казахстан на 2010–2014 годы (с изменениями и дополнениями по состоянию на 31.12.2013 г.)».

5. Постановление Правительства Республики Казахстан от 25 мая 2012 г. № 683. Об утверждении Программы развития моногородов на 2012–2020 годы (с изменениями и дополнениями от 07.11.2013 г.).

6. Программа по формированию и развитию национальной инновационной системы Республики Казахстан на 2005–2015 годы // утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан от 25 апреля 2005 г. № 387.

7. Программа «Производительность – 2020». Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 14 марта 2011 г. № 254.

8. Статистический бюллетень «Показатели Государственной программы по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 гг.». – Астана, 2013.

References

1. Vedomstvennyj plan po razvitiju i vnedreniju innovacij Karagandinskoj oblasti na 2012–2014 gody. Utverzhden postanovleniem akimata Karagandinskoj oblasti no. 46/19 ot 26 dekabrja 2011 g.

2. Plan po sozdaniju i razvitiju regional'noj innovacionnoj sistemy Karagandinskoj oblasti na 2013–2017 gody. Utverzhden postanovleniem akimata Karagandinskoj oblasti no. 35/27 ot 12 avgusta 2013 g.

3. Postanovlenie Akimata Karagandinskoj oblasti no. 23/08 ot 26 aprelja 2013 g. ob utverzhdenii Nauchno-tehnicheskogo soveta po razvitiju innovacionnyh klasterov Karagandinskogo regiona.

4. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 30 oktjabrja 2010 g. no. 1145 «Ob utverzhdenii Programmy po privlecheniju investicij, razvitiju special'nyh jekonomicheskih zon i stimulirovaniju jeksporta v Respublike Kazahstan na 2010–2014 gody (s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 31.12.2013 g.)».

5. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 25 maja 2012 g. no. 683. Ob utverzhdenii Programmy razvitija monogorodov na 2012–2020 gody (s izmenenijami i dopolnenijami ot 07.11.2013 g.).

6. Programma po formirovaniju i razvitiju nacional'noj innovacionnoj sistemy Respubliki Kazahstan na 2005–2015 gody // utverzhdena Postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 25 aprelja 2005 g. no. 387.

7. Programma «Proizvoditel'nost' 2020». Utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 14 marta 2011 g. no. 254.

8. Statisticheskij bjulleten' «Pokazateli Gosudarstvennoj programmy po forsirovannomu industrial'no-innovacionnomu razvitiju Respubliki Kazahstan na 2010–2014 gg.». Astana, 2013.

Рецензенты:

Ахметжанов Б.А., д.э.н., профессор, зав. кафедрой «Экономика предприятия» Карагандинского государственного технического университета, г. Караганда;

Аубакирова Г.М., д.э.н., профессор кафедры «Организация производства» Карагандинского государственного технического университета, г. Караганда.

Работа поступила в редакцию 09.02.2015.