ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 7 2015
Часть 4

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 25.08.2015
Формат 60x90 1/8
Технический редактор Кулакова Г.А.
Корректор Галенкина Е.С.
Усл. печ. л. 26,5.
Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2015/7

СОДЕРЖАНИЕ

03.01.00 Физико-химическая биология

АСИММЕТРИЯ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (ACER PLATANOIDES): ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
Баранов С.Г., Зыков И.Е., Федорова Л.В. 659

ТЕОРИЯ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛАХ, СОДЕРЖАЩИХ T_{2G}-ИОНЫ
Борлаков Х.Ш., Борлакова А.Х., Биджиев А.А., Китова К.С. 664

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРАТА И ЭМИССИИ БИОГАЗА ПРИ ИНТЕНСИВНОМ АНАЭРОБНОМ РАЗЛОЖЕНИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ
Джамалова Г.А. 669

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ УЧАЩИХСЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА)
Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Иванов А.Г. 675

НОВЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МАРКЕР ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА
Ковалева Е.В., Доронин Б.М., Морозов В.В., Серяпина Ю.В. 679

ВЛИЯНИЕ ПРОДУЦИРУЮЩИХ ИНДОЛ-3-УКСУСНУЮ КИСЛОТУ БАКТЕРИЙ AZOTOBACTER CHROOCOCCUM 66 И PSEUDOMONAS PUTIDA NBR9 НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ (TRITICUM AESTIVUM L.)
Мацкова Ю.А., Олюнина Л.Н., Сухов В.С., Неруш В.Н., Синицына Ю.В., Веселов А.П. 682

КОМПЛЕКСНАЯ БАЛЛОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПРОЛИФЕРАЦИЮ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ ALLIUM CEPA L.
Петров С.А., Еноктаева О.В., Субботин А.М., Мальчевский В.А. 687

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ
Староконь И.В. 691

ОСТЕОПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОПОРИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА В РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОГО ДЕФЕКТА ТРУБЧАТОЙ КОСТИ КРОЛИКА
Шумилова А.А., Шишацкая Е.И., Маркелова Н.М., Винник Ю.С., Зуев А.П., Кириченко А.К., Соловьева Н.С. 697

05.02.00 Машиностроение и машиноведение

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ
Злобин В.Н., Васильев И.П., Зеляковский Д.В. 707

УСТРОЙСТВО СБОРА ЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
Петров Р.В., Колесников Н.А., Бичурин М.И. 712

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НЕСООСНОСТЬ СОПРЯГАЕМЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Станкевич А.Ю., Куцубина Н.В., Санников А.А. 718

АНАЛИЗ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ ОПЕРАЦИЙ ОТРЕЗКИ И НАГРЕВА ЗАГОТОВОК ИЗ СОРТОВОГО ПРОКАТА КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ
Телегин И.В., Володин И.М. 722

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СОЖ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ
Тлехусеж М.А., Сороцкая Л.Н., Солоненко Л.А. 727

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БАТАРЕЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ
Фоминых И.М., Куцубина Н.В., Перескоков И.В., Санников А.А. 731

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНВАРИАНТНОГО ЭХОКОМПЕНСАТОРА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ
Абрамов С.С. 736

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК В ПО MATLAB
Акишев М.С., Петров М.Н., Анаров М.Ж. 741

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ В СТРУКТУРЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА СОСТОЯНИЙ
Дулесов А.С., Кондрат Н.Н. 745

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТНОЙ АЭРОДИНАМИКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Зея Мьо Мьинт 749

СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СОТОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ
Корнилов И.Н., Ергашёв Н.В. 755

ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИИ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Ломазов А.В., Ломазов В.А., Петросов Д.А. 760

МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА
Паутов К.Г., Попов Ф.А. 765

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТАВ АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
Петров М.Н., Суетова А.А. 770

ПРИМЕНЕНИЕ РАССТОЯНИЙ РЕДАКТИРОВАНИЯ ПРИ БИОИНФОРМАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ ГЕНОМОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ
Пономарева Н.С., Реброва Г.Н., Колина Е.А. 774

КОНЦЕПЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ БЛИЗОСТИ К ИДЕАЛЬНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЕ
Тынченко В.В., Царев Р.Ю. 778

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВ ВОДЫ. КЛАССИЧЕСКИЙ И КВАНТОВЫЙ ПОДХОДЫ
Хлопков А.Ю. 782

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗНАЧЕНИЕ БОЧКООБРАЗНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК
Шелихов Е.С., Черноусова А.М., Ануфриенко О.С. 788

05.26.00 Безопасность деятельности человека

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А. 793

АКЦЕНТУАЦИЯ ПАРАДИГМЫ «ГЕН – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»
НА ПРИМЕРЕ ХРОНИЧЕСКОГО АДЕНОИДИТА У ДЕТЕЙ
Терскова Н.В., Вахрушев С.Г., Шнайдер Н.А., Симбирцев А.С., Сидоренко Д.Р. *797*

08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ РОЛЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ
Адухова А.Х. *802*

ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ СПОСОБА
ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВО КАТАЛИЗАТОРОВ
Васильев И.П., Зеляковский Д.В., Титова В.А., Злобин В.Н. *807*

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ
И НАДЕЖНОСТИ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА
Гаджиагаев М.А. *811*

ОСНОВЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ
В ПЕРИОД САНКЦИЙ
Горбатов А.В. *817*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНОГО АППАРАТА УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТНЫМ
РАЗВИТИЕМ СОЦИАЛЬНОГО КЛАСТЕРА РЕГИОНА
Дровянников В.И., Хаймович И.Н. *822*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ
НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ
Киселева Н.Н., Орлянская А.А., Ступникова О.Е. *828*

ИНОСТРАННАЯ РАБОЧАЯ СИЛА В ПРИМОРСКОМ КРАЕ:
ФАКТОРЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ
Красова Е.В., Черепанова М.А. *833*

О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНИВАНИЯ
СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РАЗМЫТОСТИ
ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ УСЛУГ
Розанова Л.Н., Веслогузова М.В., Петрик Л.С., Ибатуллова Ю.Т. *838*

ФОНДИРОВАНИЕ РОССИЙСКИХ БАНКОВ
В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ
Стихиляс И.В., Теряева А.С. *843*

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕССИОННЫХ ПРОЕКТОВ – ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ
РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА
Тронина М.В., Черданцев В.П., Черданцев П.В. *848*

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО АУДИТА
КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УПРАВЛЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ
Шалыгина Н.П., Селюков М.В., Немченко О.А., Тарасенко А.В., Тарасенко С.А. *852*

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ
Шилкина А.Т., Савкин А.Г. *857*

CONTENTS

03.01.00 Physical and chemical biology

ACER PLATANOIDES LEAF PLATES ASYMMETRY: GENOTYPIC AND PHENOTYPIC VARIABILITY
Baranov S.G., Zykov I.E., Fedorova L.V. 659

THEORY OF THE SPIN-ORBIT PHASE TRANSITION IN THE FERROMAGNETIC CRYSTALS WITH THE T_{2G}-IONS
Borlakov K.S., Borlakova A.K., Bidzhiev A.A., Kitova K.S. 664

ANALYSIS OF VARIABILITY OF CHEMICAL COMPOSITION OF THE FILTRATE AND OF EMISSIONS OF THE BIOGAS UNDER INTENSIVE ANAEROBIC DECOMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE
Dzhamalova G.A. 669

EVALUATION OF PHYSICAL PREPAREDNESS OF SCHOLSTUDENTS OF IRKUTSK REGION (ACCORDING TO THE MONITORING)
Efimova N.V., Mylnikova I.V., Ivanov A.G. 675

NEW DIAGNOSTIC MARKER OF ISCHEMIC STROKE
Kovaleva E.V., Doronin B.M., Morozov V.V., Seryapina Y.V. 679

THE INFLUENCE OF INDOLE-3-ACETIC ACID PRODUCING BACTERIA AZOTOBACTER CHROOCOCCUM 66 AND PSEUDOMONAS PUTIDA NBR9 ON THERMOTOLERANCE OF WHEAT SEEDLING (TRITICUM AESTIVUM L.)
Matskova Y.A., Olyunina L.N., Sukhov V.S., Nerush V.N., Sinitsyna Y.V., Veselov A.P. 682

COMPREHENSIVE SCORING SYSTEM FOR ASSESSING THE IMPACT OF MICROBIAL CELL PROLIFERATION ROOT MERISTEM ALLIUM CEPA L.
Petrov S.A., Enoktaeva O.V., Subbotin A.M., Malchevskiy V.A. 687

ESTIMATION OF FATIGUE LIFE OF WELDED JOINTS AND BASIC ELEMENTS OF THE SUPPORT BLOCKS OF FIXED OFFSHORE PLATFORMS
Starokon I.V. 691

OSTEOPLASTIC PROPERTIES MACROPOROUS IMPLANTS BASED ON POLY-3-HYDROXYBUTYRATE IN THE REGENERATION OF BONE DEFECTS OF TUBULAR BONES RABBIT
Shumilova A.A., Shishatskaya E.I., Markelova N.M., Vinnik Y.S., Zuev A.P., Kirichenko A.K., Soloveva N.S. 697

05.02.00 Machine building and engineering

USE OF IONIC IMPLANTATION IN THE ENGINE STRUCTURE
Zlobin V.N., Vasilev I.P., Zelyakovskiy D.V. 707

ENERGY HARVESTING DEVICE BASED ON MAGNETOELECTRIC ELEMENTS
Petrov R.V., Kolesnikov N.A., Bichurin M.I. 712

OPERATIONAL MISS INTERFACED SHAFT PAPERMAKING EQUIPMENT
Stankevich A.Y., Kutsubina N.V., Sannikov A.A. 718

ANALYSIS OF THE METAL CONSUMPTION OF OPERATIONS PARTING AND HEATING BLANKS FROM ROLLED BAR ROUND SECTION
Telegin I.V., Volodin I.M. 722

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COOLANTS FOR METAL CUTTING
Tlekhusezh M.A., Sorotskaya L.N., Solonenko L.A. 727

STRUCTURAL PARAMETERS AND DIAGNOSTIC FACTORS
OF A TECHNICAL CONDITIONS OF BATTERY SYSTEMS
Fominykh I.M., Kutsubina N.V., Pereskokov I.V., Sannikov A.A. 731

05.13.00 Informatics, computer facilities and management

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE INVARIANT ECHO CANCELLER
IN A CHANGING LINK PARAMETERS
Abramov S.S. 736

MODELLING OF GEOMETRY OF ANTENNA LATTICES IN ON MATLAB
Akishev M.S., Petrov M.N., Anarov M.Z. 741

AMOUNT DEFINITION OF INFORMATION ENTROPY IN THE TECHNICAL SYSTEM
STRUCTURE BY METHOD OF STATES SEARCH
Dulesov A.S., Kondrat N.N. 745

NUMERICAL INVESTIGATION OF HIGH-ALTITUDE AERODYNAMICS
OF AEROSPACE VEHICLES
Zay Yar Myo Myint 749

CREATION OF A LOCAL DIFFERENTIAL SUBSYSTEM BASED
ON A CELLULAR NETWORK
Kornilov I.N., Ergashev N.V. 755

A HIERARCHY OF ESTIMATED INDICATORS OF COMPLEX DYNAMIC
SYSTEMS BASED ON EXPERT TECHNOLOGY
Lomazov A.V., Lomazov V.A., Petrosov D.A. 760

AN APPROACH FOR CLUSTERING OF THE THEMATIC USER PROFILES
AND ITS APPLICATION FOR INTERNET TRAFFIC ANALYSIS
Pautov K.G., Popov F.A. 765

METHODS MATHEMATICAL MODELING TECHNOLOGICAL PROCESS
OF REPAIR IN THE ENTERPRISE CAR SERVICE
Petrov M.N., Suetova A.A. 770

APPLICATION EDIT DISTANCES BIOINFORMATIC GENOME ANALYSIS
FOR ASSESSMENT OF REPRODUCTIVE SYSTEM
Ponomareva N.S., Rebrova G.N., Kolina E.A. 774

CONCEPT OF TWO-LEVEL DECISION MAKING BASED
ON CLOSENESS TO THE IDEAL ALTERNATIVE
Tynchenko V.V., Tsarev R.Y. 778

WATER VAPOR CONDENSATION. CLASSICAL AND QUANTUM APPROACH
Khlopkov A.Y. 782

INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE VALUE
OF A BARREL-SHAPED FOR TURNING NON-RIGID BLANKS
Shelikhov E.S., Chernousova A.M., Anufrienko O.S. 788

05.26.00 Safety of activity of the person

INFLUENCE OF CONCENTRATION OF WOOD FILLER
ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL
Storodubtseva T.N., Aksomitnyy A.A. 793

ACCENTUATION PARADIGM «GENE-ENVIRONMENT» ON THE EXAMPLE OF CHRONIC ADENOIDITIS IN CHILDREN
Terskova N.V., Vakhrushev S.G., Shnayder N.A., Simbirtsev A.S., Sidorenko D.R. 797

08.00.05 Economy and management of a national economy

CONCEPTUAL ROLE OF HIGHER EDUCATION IN THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT: THEORETICAL ASPECTS
Adukhova A.K. 802

ECONOMICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF INTRODUCTION OF THE WAY OF IONIC IMPLANTATION FOR PREPARATION OF CATALYSTS
Vasilev I.P., Zelyakovskiy D.V., Titova V.A., Zlobin V.N. 807

QUANTITIVE AND QUALITIVE INDICATORS OF THE STRESS-RESISTANT AND RELIABILITY OF COMMERCIAL BANK
Gadzhiagaev M.A. 811

BASES OF FOOD SECURITY OF RUSSIA IN THE PERIOD OF SANCTIONS
Gorbatov A.V. 817

DEVELOPMENT OF A MODEL MANAGEMENT APPARATUS COMPETITIVE DEVELOPMENT OF THE SOCIAL CLUSTER IN THE REGION
Drovyannikov V.I., Khaymovich I.N. 822

IMPROVEMENT OF STATE FINANCIAL CONTROL AT THE REGIONAL LEVEL
Kiseleva N.N., Orlyanskaya A.A., Stupnikova O.E. 828

FOREIGN LABOR FORCE IN PRIMORSKIY REGION: MODERN FACTORS OF ATTRACTING
Krasova E.V., Cherepanova M.A. 833

ON THE PROBLEM OF ESTIMATING THE SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS IN TERMS OF THE BLURRING OF THE ORIGINAL INFORMATION IN THE SERVICE INDUSTRY
Rozanova L.N., Vesloguzova M.V., Petrik L.S., Ibatullova Y.T. 838

FUNDING OF RUSSIAN BANKS IN THE CONTEXT OF THE SANCTIONS PRESSURE
Stikhilyas I.V., Teryaeva A.S. 843

IMPLEMENTATION OF CONCESSION PROJECTS – MAIN DIRECTION OF DEVELOPMENT OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP
Tronina M.V., Cherdantsev V.P., Cherdantsev P.V. 848

THE DEVELOPMENT OF THE INSTRUMENTS OF THE STATE AUDIT AS A FACTOR OF INCREASE OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT OF THE NATIONAL RESOURCES
Shalygina N.P., Selyukov M.V., Nemchenko O.A., Tarasenko A.V., Tarasenko S.A. 852

RISK MANAGEMENT IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISE: REGIONAL ASPECT
Shilkina A.T., Savkin A.G. 857

УДК 575.21:591:492

АСИММЕТРИЯ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (ACER PLATANOIDES): ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

[1]Баранов С.Г., [2]Зыков И.Е., [2]Федорова Л.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

[2]ГОУ ВО «Московский государственный областной гуманитарный институт», Орехово-Зуево, e-mail: zykov-oz@yandex.ru, fedorova-oz@yandex.ru

Генотипическая изменчивость листовых пластинок клена остролистного определялась по величине направленной асимметрии и антисимметрии. Величина направленной асимметрии находилась в двухфакторном дисперсионном Прокрустовом анализе по величине среднего квадрата фактора «сторона». Присутствие антисимметрии определялось с помощью парного *t*-теста значений эксцесса распределения разности величин правого и левого билатеральных симметричных признаков. Фенотипическая изменчивость определялась по величине флуктуирующей асимметрии в двухфакторном Прокрустовом анализе. Между величинами индексов флуктуирующей асимметрии и направленной асимметрии, полученных морфогеометрическим методом, установлена корреляционная зависимость (Spearman's $r = 0{,}78$; $p < 0{,}000$). Сделан вывод о высокой доле генотипической изменчивости в асимметрии листовых пластинок *Acer platanoides* и высокой зависимости фенотипической изменчивости от свойств генотипа.

Ключевые слова: морфогеометрический анализ, флуктуирующая асимметрия, направленная асимметрия, антисимметрия, клен остролистный

ACER PLATANOIDES LEAF PLATES ASYMMETRY: GENOTYPIC AND PHENOTYPIC VARIABILITY

[1]Baranov S.G., [2]Zykov I.E., [2]Fedorova L.V.

[1]Vladimir State University, Vladimir, e-mail: bar.serg58@gmail.com;

[2]Moscow Region State Institute of Humanities, Orekhovo-Zuevo, e-mail: zykov-oz@yandex.ru, fedorova-oz@yandex.ru

Genotypic variety has been studied on the value of directional asymmetry and antisymmetry in leaves of *Acer platanoides*. The value of directional asymmetry was calculated in two way Procrustes analyse of variance with finding value of mean square interaction of factors "individual" and "side". Antisymmetry presence was detected with t-test of value kurtosis distribution difference between right and left value bilateral asymmetric traits. Phenotypic variety was detected on the fluctuating asymmetry value in two way Procrustes analyse of variance. The correlation (Spearman's $r = 0{,}78$; $p < 0{,}000$) was found between indices value fluctuating asymmetry and directional asymmetry detected in morphogeometric method. The high portion of leaf *Acer platanoides* genotypic variety in asymmetry and dependency phenotypic variety from genotypic properties was concluded.

Keywords: morphogeometric analyse, fluctuating asymmetry, directional asymmetry, antisymmetry, *Acer platanoides*

Клен остролистный – листопадное дерево, широко распространенное в европейской части России, типичный представитель смешанных широколиственных, в том числе и припойменных лесов, урбанизированных и культурных ландшафтов. Это более требовательный к почве и иным условиям факультативный гелиофит по сравнению с липой мелколистной и березой бородавчатой. Несмотря на то, что клен остролистный используется как биоиндикатор реже других древесных пород, морфологическая изменчивость его листовых пластинок становится все более привлекательной для биоиндикационных исследований [2, 8, 11]. В настоящее время для оценки антропогенного стресса часто используется флуктуирующая асимметрия (ФА). ФА – это незначительные ненаправленные отклонения от идеальной симметрии, величина которых может указывать на уровень стабильности развития. Частотная гистограмма величины ФА представляет собой нормальное распределение встречаемости величин разностей между размерами правого и левого признаков ($R - L$). Направленная асимметрия (НА) и антисимметрия (АнС) в целях биоиндикации используются меньше, т.к. они проявляют свойства, определяемые генотипом. Направленная асимметрия имеет нормальное частотное распределение величин ($R - L$), но оно сдвинуто в левую или правую от нуля сторону, т.е. $R \neq L$. Антисимметрия встречается при отклонении от нормального

распределения значений ($R - L$), и ее частотная гистограмма имеет плосковершинную или бимодальную форму. Смесь разных видов асимметрии – обычное явление среди листовых пластинок древесных растений [6]. Помимо нормирующей разности, с использованием величины ($R - L$) существуют другие интегральные методы. Одним из них является метод геометрической морфометрии, при котором наносятся метки по краю всей листовой пластинки, находится их смещение в двухмерном пространстве в зависимости от усредненных положений эталонной фигуры с выровненными координатами выбранных точек [3, 4].

Цель данной работы заключалась в тестировании проявления фено- и генотипических свойств клена остролистного на основе билатеральной асимметрии его листовых пластинок. Задачи работы включали определение реакции асимметричных признаков в ответ на факторы среды, выяснение возможности использования этого вида в качестве биоиндикатора стабильности развития. Для достижения цели проведено определение величины ФА (фенотипический признак), антисимметрии и направленной асимметрии (генотипические признаки) двумя методами: нормирующим (НМ) и морфогеометрическим (МГ), изучено влияние антропогенного стресса и высоты над уровнем моря на изменчивость этих величин.

Материалы и методы исследования

Сбор материала. Нормирующий метод (НМ)

Сбор листовых пластинок клена остролистного проводился в семи регионах Владимирской области в 2013–2014 гг. Было использовано 25 популяций. В каждой популяции с 10-ти деревьев собиралось по 100 листовых пластинок шириной 6,5–7,5 см с пятью выраженными лопастями. Листья отбирались с края кроны, на высоте 1,5–2 м, на расстоянии 100–300 м от крупных автомагистралей.

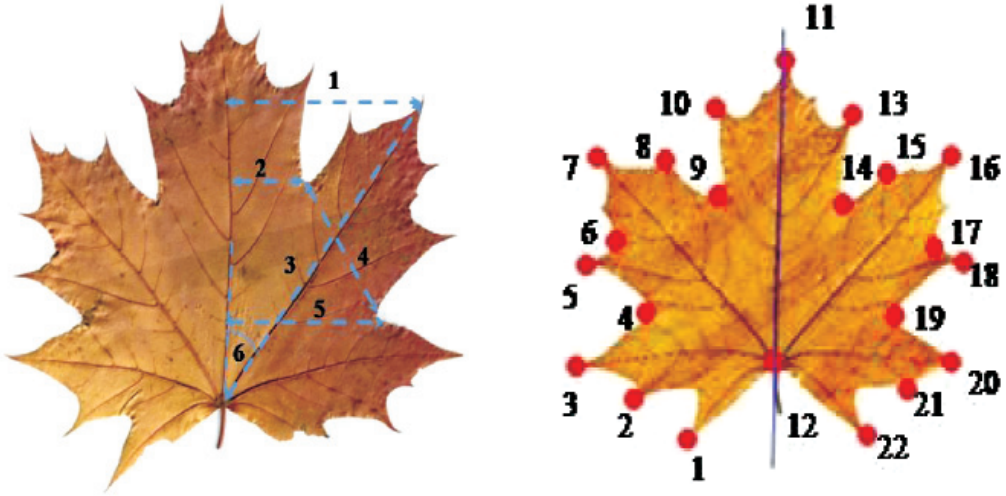
Антропогенный стресс оценивался по уровню выбросов токсичных веществ от автотранспорта. По данным администрации области в 2014 г. наибольший объем выбросов отмечен в г. Владимире (34,7 тыс. т), наименьший в Гороховецком районе (1,8 тыс. т) [1]. Измерение билатеральных признаков листовых пластинок проводилось по шести показателям (рисунок) [5]: 1 – расстояние от вершины максимальной лопасти до средней жилки; 2 – расстояние от верхней впадины максимальной лопасти до средней жилки; 3 – длина максимальной лопасти; 4 – расстояние между верхней и нижней впадинами максимальной лопасти; 5 – расстояние от нижней впадины максимальной лопасти до средней жилки; 6 – угол между главной жилкой (центральной) и основной жилкой максимальной лопасти.

Нахождение индекса ФА проводилось по формуле [8]:

$$FA_2 = |R - L|/(R + L),$$

где R и L – величины правого и левого признаков.

Под выборкой подразумевался ряд значений FA_2 по каждому из 6-ти признаков (всего: 25 популяций×6 признаков = 150 выборок). Каждая выборка проверялась на наличие направленной асимметрии. При этом ставился t-тест на наличие или отсутствие различия между величинами R и L. Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями использовался, если тест Фишера показывал отсутствие различия в дисперсиях ($p > 0,05$), что было характерно для 90 % выборок. Аналогичный t-тест, но с разными дисперсиями использовался, если тест Фишера показывал различия в дисперсиях между величинами R и L. Присутствие антисимметрии (косвенно) определялось нахождением выборочной величины эксцесса разности ($R - L$).



а б

Рис. а – параметры листовой пластинки клена остролистного, использованные для нахождения флуктуирующей асимметрии нормирующим методом (пояснения в тексте); б – парные метки, использованные для морфогеометрического анализа флуктуирующей асимметрии клена остролистного

При определении значимости величин эксцесса использовалась программа FA_Calc.excel, в которую заносились данные описательной статистики, такие как величина признака $(R + L)/2$ и его стандартная ошибка, асимметричность, эксцесс и стандартная ошибка величины $(R - L)$ [7, 8]. Для тестирования значимости эксцесса применялась коррекция Бонферрони на основе распределения Стьюдента. Наиболее значимая величина эксцесса устанавливалась на уровне $\alpha = 0{,}05$, деленная на количество данных проверяемых значений эксцесса. На этом же уровне значимости (0,05) проверялись все статистические гипотезы. Из шести выборок для нахождения интегрального индекса FA_2 популяции учитывались только выборки, лишенные антисимметрии и направленной асимметрии.

Морфогеометрический метод (МГ)

Листья фотографировались цифровой камерой с мерной линейкой (ГОСТ 427-75) для масштабирования (единица масштаба 1 см соответствовала расстоянию в пикселях между двумя последними метками). Всего наносилось 12 пар точек (меток), из них 11-я и 12-я лежали на оси симметрии – средней жилке (рис. 1). В качестве меток выбирались самые распознаваемые места: окончания жилок, места наибольшей кривизны в межлопастных пазухах. Обработка данных проводилась в пакете программ TPS. Постановка Прокрустова двухфакторного дисперсионного анализа проводилась программой SAGE [9, 10]. Основными этапами тестирования морфогеометрической флуктуирующей асимметрии (MGFA) были:

а) нанесение меток в двух повторностях, т.е. создание по два TPS файла для каждой листовой пластинки;

б) подготовка общего файла формата TPS;

в) подготовка текстовых файлов, содержащих информацию о парных метках и количестве обрабатываемых образцов, т.е. листовых пластинок;

г) постановка пермутационного теста с размножением массива значений.

Прокрустовых расстояний (1000) для нормализации выборок и избегания примеси антисимметрии. Прокрустов дисперсионный анализ основан на вычислении произведения средних квадратов Прокрустовых расстояний двух факторов «сторона» и «особь». Величина ФА, определяемая морфогеометрическим методом (в сантиметрах), рассчитывалась по формуле [6, 8]:

$$MGFA = 0{,}798\sqrt{MS_{is} - MS_{error}},$$

где $MGFA$ – величина морфогеометрического индекса флуктуирующей асимметрии; MS_{is} – средний квадрат взаимодействия факторов «сторона» и «особь»; MS_{error} – средний квадрат ошибки измерения.

При начальной обработке значений использовалась программа Excel, корреляционный и дисперсионный анализы проводились в среде программы STATISTICA 10 (Stat. Soft Inc.).

Результаты исследования и их обсуждение

Нормирующий метод (НМ)

Билатеральные признаки отличались по величине FA_2 и варьировали от 0,003 (Судогда) до 0,13 (Гороховец). Однофакторный анализ показал существенное различие среди признаков ($F = 3{,}43$; $p = 0{,}01$). Наиболее высокие средние значения FA_2 имели 2-й ($0{,}051 \pm 0{,}005$) и 6-й признаки ($0{,}046 \pm 0{,}005$). В абсолютном количестве значимые величины эксцесса были получены в регионе Гороховец (33,3 % к числу выборок), наименьшее значение – в регионе Вязники (соответственно 12,5 %). Фактически при коррекции Бонферрони только превышение значений эксцесса свыше $\gamma = 3{,}0 - 3{,}1$ приводило к его значимому проявлению (уровни статистической вероятности от 10^{-5} и выше). Не было получено статистически значимых низких значений эксцесса. Так, при $\gamma = -0{,}5$ уровень вероятности эксцесса показывал незначимую величину $p = 0{,}32$. Следовательно, не было выявлено выборок, содержащих статистически значимую антисимметрию. Высокие положительные значения эксцесса свидетельствовали о гетерогенности формы листовых пластинок.

Направленная асимметрия признаков была обнаружена в 11-ти выборках. Интерес вызвала популяция из п. Энергетик (Владимирский регион), в которой направленная асимметрия встретилась во всех признаках, кроме 6-го (угол между главной и основной жилками). В этой популяции было отмечено высокое значение эксцесса и направленной асимметрии 5-го признака (пик в диапазоне 0,0–0,5; t-тест: $p < 0{,}000$; значение эксцесса $\gamma = 37{,}4$).

Морфогеометрический метод (МГ)

Величины морфогеометрических индексов направленной асимметрии (MGDA) и флуктуирующей асимметрии (MGFA) были статистически значимы во всех популяциях. Вариация направленной асимметрии была выше, чем флуктуирующей асимметрии (коэффициенты вариации соответственно 212,3 и 41,6). МГ методом получены величины MGFA от 0,013 (Меленки) до 0,035 (Владимир). Результаты, характеризующие популяции разных регионов, представлены в таблице.

Многомерным дисперсионным анализом (MANOVA) установлено существенное различие в направленной асимметрии среди некоторых пар меток ($p < 0{,}00$). Так, анализ 4-й пары меток показал наиболее сильную направленную асимметрию в популяциях Владимира. В популяции региона Меленки такой эффект наблюдался в 6-й паре меток. В величине морфогеометрической ФА статистически существенного различия среди пар меток отмечено не было. Практически в каждой популяции присутствовали статистически значимые величины НА и ФА, что дало возможность установить корреляционную зависимость между значениями индексов MGDA и MGFA ($n = 25$; Spearman's $r = 0{,}78$; $p < 0{,}000$). Получена значимая

корреляция между числом признаков с повышенным эксцессом и числом признаков, содержащих НА ($n = 9$; Pearson's $r = 0,86$; $p < 0,000$). Регрессионной зависимости между величинами FA_2, MGFA, MGDA и объемами антропогенных поллютантов и высотой рельефа обнаружено не было.

Индексы ФА, полученные в нормирующей формуле (FA_2), морфогеометрические индексы флуктуирующей асимметрии (MGFA) и направленной асимметрии (MGDA)

Регион	*n*	Антропогенный стресс, тыс.т/год		Высота местности, м	FA_2 se ± 0,01	MGFA se ± 0,002	Число признаков		MGDA se ± 0,002
		Автовыбросы	Индустриальные выбросы				с высоким эксцессом	с НА	
Владимир	9	34,7	4,50	144–161	0,034	0,019	12	6	0,004
Ковровский р-н	2	13	1,83	131–134	0,091	0,017	3	1	0,003
Вязниковский р-н	4	6,5	2,68	97,7–130,8	0,027	0,019	5	0	0,003
Судогодский р-н	2	4,1	2,05	144,4–155,5	0,041	0,017	4	3	0,067
Меленковский р-н	4	3,5	1,58	115,2–127,1	0,048	0,027	4	1	0,093
Камешковский р-н	3	2,9	0,26	98,5–100,3	0,045	0,017	4	0	0,002
Гороховецкий р-н	1	1,8	1,26	109,0	0,106	0,015	2	0	0,003

Обозначения: *n* – объем выборок, *se* ± – стандартная ошибка.

Выводы

Отсутствие направленной асимметрии у мерных признаков и присутствие ее по результатам морфогеометрического анализа свидетельствует о высоком различии формы листовых пластинок в двухмерном пространстве. Нормирующая формула удобна лишь для тестирования мерных величин отдельно взятых признаков. Индивидуальная изменчивость (фактор «образец») была статистически значимой во всех случаях, т.е. пластинки сильно отличались в популяциях.

Высокая корреляционная зависимость двух видов асимметрии подтверждает связь между двумя формами изменчивости: генотипической и фенотипической. Результаты предыдущих работ, проведенных с листовыми пластинками липы мелколистной [3] и дуба черешчатого [4], не показали явного присутствия направленной асимметрии. Не было получено прямой связи между уровнем техногенной нагрузки и величиной FA_2 или MGFA. На основании полученных результатов сформулированы следующие выводы:

1 – различия в величине дисперсии величин правых и левых билатерально симметричных признаков листовых пластинок клена остролистного дают возможность установить связь между генотипическими и фенотипическими компонентами;

2 – фенотипическая изменчивость в виде флуктуирующей асимметрии различается в популяциях обследованных регионов, но флуктуирующую асимметрию листовых пластин клена остролистного как вида-биоиндикатора следует изучать при воздействии суммы нескольких факторов;

3 – для популяций клена остролистного характерна высокая доля генотипической изменчивости в виде направленной асимметрии и ассоциированное с ней проявление фенотипической изменчивости в виде флуктуирующей асимметрии.

Список литературы

1. Администрация Владимирской области. Департамент природопользования и охраны окружающей среды. Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды и населения Владимирской области. – Владимир, 2014. – URL: http://dpp.avo.ru/activities/education/63-doklad.

2. Андреева М.В. Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов: автореф. дис. ... канд. сельск.-хоз. наук. – СПб., 2007. – 24 с.

3. Баранов С.Г. Использование морфометрического метода для определения флуктуирующей асимметрии липы мелколистной // Биозащита и биобезопасность. – 2014. – Т. VI. № 1 (18). – С. 10–17.

4. Баранов С.Г. Исследование формы и асимметрии листовых пластин дуба черешчатого // Биозащита и биобезопасность. – 2014. – Т.VI. № 4 (21). – С. 16–26.

5. Глухов А.З., Штирц Ю.А., Демкович А.Е., Жуков С.П. Оценка проявления флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки Acer pseudo platanus L. в условиях придорожных экосистем промышленного города (на примере г. Донецка) // Промышленная ботаника. – 2011. – Вып. 11. – С. 90–96.

6. Bechshøft T.Ø. et al. Fluctuating asymmetry in metric traits; a practical example of calculating asymmetry, measurement error, and repeatability // Annales Zoologici Fennici. – Finnish Zoological and Botanical Publishing, 2008. – Т. 45. – № . 1. – С. 32–38.

7. Graham J.H. et al. Directional asymmetry and the measurement of developmental instability // Biological Journal of the Linnean Society. – 1998. – Т. 64. – № . 1. – С. 1–16.

8. Palmer A.R. Fluctuating asymmetry analyses: a primer // Developmental instability: its origins and evolutionary implications. – Springer Netherlands, 1994. – С. 335–364.

9. The Morphometrics Website [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.morphometrics.org/ (дата обращения 11.07.2015).

10. The Web Environment at University of Michigan. U-M Personal WWW Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www-personal.umich.edu/ (дата обращения 11.07.2015).

11. Zhang H., Wang X. Leaf developmental stability of Platanus acerifolia under urban environmental stress and its implication as an environmental indicator // Frontiers of Biology in China. – 2006. – Т. 1. – № . 4. – С. 411–417.

References

1. Administracija Vladimirskoj oblasti. Departament prirodopol'zovanija i ohrany okruzhajushhej sredy. Ezhegodnyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy i naselenija Vladimirskoj oblasti [Vladimir], 2014. URL: http://dpp.avo.ru/activities/education/63-doklad. (The administration of the Vladimir region. Department of natural resources and environmental protection. Annual report on the state of the environment and the population of the Vladimir region [Vladimir], 2014. URL: http://dpp.avo.ru/activities/education/63-doklad).

2. Andreeva M.V. Otsenka sostoyaniya okruzhaushcey sredy v nasazhdeniyach v zonakh promyshlennykh vybrosov s pomoschy rastenii-indicatorov: Avtoreferat. diss. ...cand. selsko.-khoz. nauk. (Testing environmental condition in green zones under industrial emissions with plant-indicators). Sent-Petersburg, 2007. 24 p.

3. Baranov S.G. Ispolzovanie morfogeometricheskogo metoda dlya opredeleniya fluktuiruyuschey asimmetrii lipy melkolistnoy. (Use of Morphogeometric method for testing fluctuating asymmetry in Lime tree). Bio defense and bio safe. 2014. V.VI. (18). pp. 10–17.

4. Baranov S.G. Issledovanie formy I asimmetrii listovykh plastin duba chershchatogo. (Study of form and asymmetry of oak leaf plates). Bio defense and bio safe. 2014. Vol. VI. no. 4 (21). pp. 16–26.

5. Glukhov A.Z., Shtirz Y.A., Demkovich A.E., Zhukov S.P. Otsenka proyavleniya fluktuiruyuschey asimmetrii bilateralnyih priznakov listovoy plastinki *Aser pseudo platanus* L. v usloviyah pridorozhnyih ekosistem promyishlennogo goroda (na primere g. Donetsk). [(Evaluation of fluctuating asymmetry manifestations of bilateral traits of lamina *Aser pseudo platanus* L. in a roadside ecosystem industrial city (for example, in Donetsk)]. Industrial botani. 2011. 11. pp. 90–96.

6. Bechshøft T.Ø. et al. Fluctuating asymmetry in metric traits; a practical example of calculating asymmetry, measurement error, and repeatability //Annales Zoologici Fennici. Finnish Zoological and Botanical Publishing, 2008. T. 45. no. 1. pp. 32–38.

7. Graham J.H. et al. Directional asymmetry and the measurement of developmental instability // Biological Journal of the Linnean Society. 1998. T. 64. no. 1. pp. 1–16.

8. Palmer A.R. Fluctuating asymmetry analyses: a primer // Developmental instability: its origins and evolutionary implications. Springer Netherlands, 1994. pp. 335–364.

9. The Morphometrics Website [Electronic resource]. Access mode: http://www.morphometrics.org/ (accessed 11.07.2015).

10. The Web Environment at University of Michigan. U-M Personal WWW Server [Electronic resource]. Access mode: http://www-personal.umich.edu/ (accessed 11.07.2015).

11. Zhang H., Wang X. Leaf developmental stability of *Platanus acerifolia* under urban environmental stress and its implication as an environmental indicator // Frontiers of Biology in China. 2006. T. 1. no. 4. pp. 411–417.

Рецензенты:

Мищенко Н.В., д.б.н., профессор кафедры биологии и экологии, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир;

Борисова Е.А., д.б.н., зав. кафедрой общей биологии и физиологии, ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет», г. Иваново.

УДК 537.61 536.42

ТЕОРИЯ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛАХ, СОДЕРЖАЩИХ T_{2G}-ИОНЫ

Борлаков Х.Ш., Борлакова А.Х., Биджиев А.А., Китова К.С.

ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия» Минобрнауки России, Черкесск, e-mail: borlakov@mail.ru

Метод локальной (узельной) матрицы плотности применен для построения теории спин-орбитального фазового перехода при ферромагнитном упорядочении спинов в кубическом кристалле. Показано, что параметр порядка, описывающий появление узельных токов на узлах с ян-теллеровскими T_{2g}-ионами, пропорционален компонентам орбитальной части вектора спонтанной намагниченности. Для различных возможных типов осей легкого намагничивания установлена взаимосвязь между компонентами параметра порядка и вероятностями заселения каждого из состояний орбитального триплета. Показано, что появление орбитальной намагниченности совместимо с возможностью существования одновременного зарядового упорядочения на тех же узлах. Сформулированы необходимые условия сосуществования орбитального магнетизма и зарядового упорядочения на узлах, занятых T_{2g}-ионами. Результаты теоретического анализа сравнены с экспериментальными данными для феррита-шпинели Fe_2TiO_4.

Ключевые слова: изотропная магнитная фаза, матрица плотности, орбитальное упорядочение, теория Ландау фазовых переходов, ульвошпинель

THEORY OF THE SPIN-ORBIT PHASE TRANSITION IN THE FERROMAGNETIC CRYSTALS WITH THE T_{2G}-IONS

Borlakov K.S., Borlakova A.K., Bidzhiev A.A., Kitova K.S.

North Caucasian State Humanitarian Technological Academy, Cherkessk, e-mail: borlakov@mail.ru

The local density matrix method is used to develop the theory of spin-orbit phase transition under the ferromagnetic ordering of the spins in a cubic crystal. The study shows that the order parameter that describes appearance of interstitial currents on the sites that have Jahn-Teller T_{2g}-ions is proportional to the orbital components of the spontaneous magnetization vector. For various types of light magnetization axes, relation is established between components of the order parameter and probabilities of populating the states of the orbital triplet. This study shows that the emergence of the orbital magnetization is compatible with existence of charge ordering at the same nodes. Necessary conditions are formulated for co-existence of orbital magnetism and charge ordering at the nodes occupied with the T_{2g}-ions. Theoretical findings are compared with the experimental data on spinel-ferrite Fe_2TiO_4.

Keywords: an isotropic magnetic phase, the density matrix, orbital ordering, Landau theory of phase transitions, ulvospinel

Ранее, в работах [1, 2] и ряде других публикаций одного из авторов данной работы была построена общая феноменологическая теория магнитных фазовых переходов (ФП) в 3d-элементах и их магнитных соединениях. Было показано, что в этих кристаллах магнитная анизотропия возникает не в точке Кюри – Нееля (при $T = T_c$), а при более низкой температуре $T = T_{ls}$, так, что в интервале $T_{ls} < T < T_c$ существует магнитная фаза без анизотропии, свойства которой обусловлены только обменными взаимодействиями. В простейшем случае ферромагнетика намагниченность можно представить в виде суммы двух слагаемых $\vec{M} = \vec{S} + \vec{c}$, где $\vec{S}$ – спиновая (обменная) часть, $\vec{c}$ – вклад в намагниченность, обусловленный релятивистскими взаимодействиями. В парамагнитной фазе оба этих слагаемых равны нулю, а ниже точки Кюри возникает чисто спиновая часть $\vec{S}$, причем вектор $\vec{S}$ является критическим параметром порядка (ПП) для перехода в точке Кюри. Вклад релятивистских взаимодействий в намагниченность $\vec{c}$ возникает в точке перехода в анизотропную фазу T_{ls}, а вектор $\vec{c}$ является критическим ПП для перехода из изотропной фазы в анизотропную. На кривой температурной зависимости намагниченности $M(T)$ включение орбитального вклада $c(T)$ ниже температуры T_{ls} должно отобразиться в виде появления на графике «горбика» в окрестности точки $T = T_{ls}$, если орбитальный вклад направлен по направлению вектора $\vec{S}$ и «впадины», если направление орбитального вклада противоположно. И действительно, для кристалла медного феррита $CuFe_2O_4$ – типичного обменного магнетика, на экспериментальной кривой $M(T)$ при температуре перехода из кубической (изотропной) в тетрагональную (анизотропную) фазу имеется хорошо выраженный «горбик» [12].

Предложенная в [1, 2] теория носила чисто феноменологический характер и не учитывала какой-либо специфики того, что

при спин-орбитальном переходе происходит упорядочение орбиталей, вызывающее появление орбитальных токов и, как следствие, орбитального магнитного момента, вносящего вклад в намагниченность. В данной работе мы имеем намерение связать орбитальный вклад в намагниченность с квантовомеханическими величинами, описывающими орбитальное упорядочение, и с орбитальными токами. Анализ механизма кооперативного спин-орбитального эффекта рассмотрим на примере кристаллов со структурой шпинели. Весьма показателен в этом отношении феррит титана (ульвошпинель) Fe_2TiO_4. В точке Кюри – Нееля при $T_c = 147$ K кристалл ульвошпинели переходит в магнитоупорядоченное состояние – становится Неелевским антиферромагнетиком. При $T_{JT} = 115$ K кристалл испытывает структурный переход из кубической фазы в тетрагональную, который сопровождается резким увеличением магнитной анизотропии и появлением слабого ферромагнетизма [8]. Принято считать [9, 11] переход при $T_{JT} = 115$ K ян-теллеровским переходом, обусловленным двухвалентными ионами железа. При $T_2 = 77$ K кристалл испытывает еще один структурный переход из тетрагональной в моноклинную фазу [6]. Катионное распределение в ульвошпинели имеет следующий вид: $Fe^{+2}[Fe^{+2}Ti^{+4}]O^{-2}_4$. При таком распределении катионов ян-теллеровскими являются ионы железа и в тетраэдрической, и в октаэдрической подрешетках. При этом катионы Fe^{+2} в октаэдрической подрешетке имеют трехкратно вырожденные орбитальные состояния, а ионы в тетраэдрической подрешетке являются e_g-ионами [10]. Таким образом, в последовательности фазовых переходов, происходящих в ульвошпинели, спиновое и орбитальное упорядочение, а также их взаимовлияние играет самую непосредственную роль. Обратимся к подробному рассмотрению этого вопроса.

Кристаллы со структурой шпинели характеризуются в парамагнитной фазе ОЦК решеткой, симметрия которой описывается пространственной группой O_h^7. Симметрия кристаллической решетки сохраняется и в изотропной магнитной фазе и изменяется только ниже точки спин-орбитального фазового перехода. Переход из изотропной в анизотропную ферромагнитную фазу описывается трехмерным ПП $\vec{c} = (c_1, c_2, c_3)$ [1], который преобразуется по неприводимому представлению (НП) F_{1g} группы симметрии кристалла O_h^7. Для корректного описания ФП, связанных с изменением квантовых орбитальных состояний 3d-электронов, ПП должен быть выражен через элементы матрицы плотности [3].

Состояния ян-телллеровского (ЯТ-) иона, находящегося в постоянном взаимодействии с кристаллом, по общим правилам квантовой механики должны описываться с помощью матрицы плотности, оператор которой в собственном базисе имеет вид [3, 6]

$$\hat{\rho} = \sum_{i=1}^{n} w_i \left|\psi_i\right\rangle\left\langle\psi_i\right| = \sum_{i,k=1}^{n} w_i \delta_{ik} \left|\psi_i\right\rangle\left\langle\psi_k\right|;$$

$$\rho_{ik} = w_i \delta_{ik} \quad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \qquad (1)$$

где δ_{ik} – символ Кронеккера; $\left|\psi_i\right\rangle$ – собственные векторы $\hat{\rho}$; w_i – вероятности пребывания ЯТ-иона в состояниях $\left|\psi_i\right\rangle$; $\rho_{ik} = w_i \delta_{ik}$ – матричные элементы. В исходной фазе вероятности заселенностей w_i всех n состояний одинаковы: $w_i = 1/n$, поэтому $n\rho^0_{kj} = \delta_{kj}$, т.е. в исходной фазе матрица плотности пропорциональна единичной. Поэтому в низкосимметричной фазе $\hat{\rho}$ можно записать так:

$$n\hat{\rho} = \left(\hat{E} + \Delta\hat{\rho}\right), \qquad (2)$$

где $\hat{E}$ – единичная $n\times n$-матрица, а второе слагаемое $\Delta\hat{\rho}$ – бесследная часть оператора $\hat{\rho}$, возникающая ниже точки ФП, причем $Sp\Delta\hat{\rho} = 0$. Величина $\Delta\hat{\rho}$, согласно (2) описывает появление новых свойств в низкосимметричной фазе. Для любой бесследной эрмитовой $n\times n$-матрицы существует линейно-независимый набор бесследных $n\times n$-матриц $\hat{\sigma}_\alpha$, по которым ее можно разложить [3, 6]:

$$\Delta\hat{\rho} = \sum_{\alpha} \eta_\alpha \hat{\sigma}_\alpha, \qquad (3)$$

где $\eta_\alpha = \left\langle\hat{\sigma}_\alpha\right\rangle = Sp\left(\hat{\rho}\hat{\sigma}_\alpha\right)$,

где α – номер НП, входящего в тензорное (ян-теллеровское) представление, реализующееся на $\Delta\rho_{ik}$. Размерность s легко вычислить. В общем случае комплексная $n\times n$-матрица зависит от $2n^2$ произвольных действительных параметров. Условие равенства нулю следа матрицы и n^2 условий эрмитовости дают $s = 2n^2 - n^2 - 1 = n^2 - 1$. Следовательно, многомерный ПП $\vec{\eta}$, описывающий снятие вырождения и упорядочение T_{2g}-орбиталей, имеет 8 компонент. Так как у кубической группы O_h нет НП

с размерностями больше 3-х, $\vec{\eta}$ преобразуется по приводимому представлению и из его компонент можно выделить неприводимые составляющие. Ниже мы приведем результат такого анализа.

Нам необходимо связать η_α с вероятностями занятия орбитальных состояний w_i. Для этого следует в (1) перейти от собственного базиса $|\psi_i\rangle$ к произвольному ортонормированному базису $|\varphi_j\rangle$ с помощью некоторого унитарного преобразования $\hat{U}$: $|\psi_i\rangle = \sum_{j=1}^{n} U_{ij}|\varphi_j\rangle$. Тогда матричные элементы оператора $\hat{\rho}$ будут выражены через вероятности w_i и матричные элементы унитарного оператора $\hat{U}$

$$\rho_{ik} = \sum_{j=1}^{n} w_j U_{kj}^{+} U_{ji}. \qquad (4)$$

Выразим матрицу $\hat{\rho}$, по формулам (2), (3) задавая явный вид базисных матриц $\hat{\sigma}_\alpha$. В качестве базисных 3×3 матриц $\hat{\sigma}_\alpha$ [3, 6]:

$$\sigma_1 = \sigma_2^* = \begin{pmatrix} \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon^* & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \sigma_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\sigma_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_5 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \qquad (5)$$

$$\sigma_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\sigma_8 = \begin{pmatrix} 0 & i & 0 \\ -i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Как следствие, получаем следующие уравнения связи η_α с w_i и U_{ij}:

$$\eta_1 = \eta_2^* = \sum_i w_i \left[\varepsilon |u_{i1}|^2 + \varepsilon^2 |u_{i2}|^2 + |u_i|^2 \right];$$

$$\eta_3 = \sum_i w_i \left[u_{i2} u_{i3}^* + u_{i3} u_{i2}^* \right];$$

$$\eta_6 = \sum_i w_i \left[u_{i3} u_{i2}^* - u_{i2} u_{i3}^* \right]; \qquad (6)$$

$$\eta_4 = \sum_i w_i \left[u_{i1} u_{i3}^* + u_{i3} u_{i1}^* \right];$$

$$\eta_7 = \sum_i w_i \left[u_{i3} u_{i1}^* - u_{i1} u_{i3}^* \right];$$

$$\eta_5 = \sum_i w_i \left[u_{i1} u_{i2}^* + u_{i2} u_{i1}^* \right];$$

$$\eta_8 = \sum_i w_i \left[u_{i2} u_{i1}^* - u_{i1} u_{i2}^* \right].$$

В качестве базисных электронных волновых функций трехкратно вырожденного T_{2g}-уровня обычно выбирают набор вещественных волновых функций φ_1, φ_2, φ_3, определяемых соотношениями

$$r^2\varphi_1 = yz;\ r^2\varphi_2 = zx;\ r^2\varphi_3 = xy. \qquad (7)$$

Итак, мы имеем восемь компонент приводимого ПП η. Какие из них соответствуют ферромагнитному переходу по НП F_{1g}? Для ответа на этот вопрос надо разложить приводимое представление $\Gamma(\eta)$ по НП группы O_h. Используя метод приводящей матрицы в применении к образам генераторов группы O_h и приведя их к блочно-диагональной форме, мы получили следующее разложение исходного представления на два трехмерных и двукратное одномерное

$$\Gamma(\vec{\eta}) = F_{1g} + F_{2g} + 2A_{2g}. \qquad (8)$$

Как показал наш анализ, по псевдовекторному НП F_{1g} преобразуется трехкомпонентный вектор $\vec{m} = (\eta_6, \eta_7, \eta_8)$. По НП F_{2g} преобразуется еще один трехкомпонентный вектор $\vec{u} = (\eta_3, \eta_4, \eta_5)$. Наконец, две компоненты η_1 и η_2 восьмимерного ПП η преобразуются независимо друг от друга – по одному и тому же одномерному НП A_{2g}. Физическая роль НП, входящих в правую часть разложения (8), совершенно различна. ПП $\vec{m} = (\eta_6, \eta_7, \eta_8)$, преобразующийся по НП F_{1g}, определяет всю физику фазового перехода в ближайшей окрестности точки спин-орбитального перехода $T = T_{ls}$ – изменение симметрии кристалла, температурные зависимости основных термодинамических величин. Это критический параметр порядка, и, соответственно, F_{1g} – критическое НП. Остальные НП в правой части (8) описывают сопутствующие фазовому переходу явления – эти НП называются некритическими, а им соответствуют вторичные ПП. Для каждого возможного критического НП можно вычислить сопутствующие ему

НП – и этот набор – критическое НП и совокупность некритических НП – образует так называемый полный конденсат [5]. В полный конденсат критического НП F_{1g}, кроме указанных в (8), входят еще двумерное НП E_g и единичное НП A_{1g}. Термодинамика ФП с критическим НП F_{1g} была подробно рассмотрена [1–2], и специфика орбитального упорядочения не привносит в нее ничего нового. Новой является физическая интерпретация явлений, описываемых вторичными параметрами порядка, соответствующим НП F_{2g} и A_{2g}.

Рассмотрим это подробнее. Как было показано в [3], часть компонент ПП $\vec{\eta}$ описывает изменение плотности заряда на узле, занятом ЯТ-ионом, а другая часть описывает возникновение узельного тока, и эти два набора не пересекаются. Но, как известно уже из курса общей физики, с замкнутым круговым током связан соответствующий магнитный момент этого тока. Поэтому, спин-орбитальный переход в анизотропную магнитную фазу описывается теми из восьми компонент $\vec{\eta}$, которые входят в выражение для плотности узельного тока.

Из общей квантовомеханической формулы <**A**> = $Sp(A\rho)$, примененной к матрице оператора тока

$$2\vec{J}_{ik} = 2\langle\varphi_i|\hat{\vec{J}}|\varphi_k\rangle = \left(\varphi_i\nabla\varphi_k^* - \varphi_k\nabla\varphi_i^*\right). \quad (9)$$

Получается следующее выражение для плотности среднего узельного тока [10]:

$$\langle\vec{J}\rangle = \eta_6\vec{J}_1 + \eta_7\vec{J}_2 + \eta_8\vec{J}_3, \quad (10)$$

а базисные токи имеют вид

$$\vec{J}_1 = (\varphi_3\nabla\varphi_2 - \varphi_2\nabla\varphi_3);$$

$$\vec{J}_2 = (\varphi_3\nabla\varphi_1 - \varphi_1\nabla\varphi_3);$$

$$\vec{J}_3 = (\varphi_2\nabla\varphi_1 - \varphi_1\nabla\varphi_2). \quad (11)$$

Аналогичным образом для матрицы оператора плотности заряда с элементами $d_{ik} = \varphi_i\varphi_k$ получается выражение для среднего значения заряда, на узле, занятом ЯТ-ионом:

$$3\langle\hat{d}\rangle = \left(1+\varepsilon\eta_1+\varepsilon^2\eta_2\right)|\varphi_1|^2 + \left(1+\varepsilon^2\eta_1+\varepsilon\eta_2\right)|\varphi_2|^2 + (1+\eta_1+\eta_2)|\varphi_3|^2 +$$
$$+2\left(\eta_5\,\mathrm{Re}\,\varphi_1\varphi_2^* + \eta_4\,\mathrm{Re}\,\varphi_1\varphi_3^* + \eta_3\,\mathrm{Re}\,\varphi_2\varphi_3^*\right) + 2\left(\eta_6\,\mathrm{Im}\,\varphi_2\varphi_3^* + \eta_7\,\mathrm{Im}\,\varphi_1\varphi_3^* + \eta_8\,\mathrm{Im}\,\varphi_1\varphi_2^*\right). \quad (12)$$

Отсюда видно, что в случае действительных волновых функций (7) слагаемые с η_6,η_7,η_8 выпадают из плотности заряда. Конкретная пространственная конфигурация электронного тока на узле определяется координатной зависимостью электронных волновых функций. Так, для тока <$\vec{J}$> легко получить, при $\eta_6 = \eta_7 = 0$, $\eta_8 = 1$

$$\langle j_r\rangle = \langle j_\theta\rangle = 0; \quad \langle j_\phi\rangle = 3\sin\theta\cos^2\theta. \quad (13)$$

Таким образом, спин-орбитальный ФП должен описываться трехмерным ПП $\vec{m} = (\eta_6, \eta_7, \eta_8)$. Этот ПП преобразуется по НП F_{1g} и пропорционален классическому ПП $\vec{c} = (c_1, c_2, c_3)$, использованному в работах [1, 2].

В работах [1, 2] были найдены магнитоанизотропные фазы (таблица) и проведен термодинамический анализ фазовых превращений, как по критическим степеням свободы, так и по некритическим. Эти результаты остаются в силе и при явном учете орбитальных состояний. Однако теперь мы можем точно вычислить величины орбитальных магнитных моментов и соответствующих им узельных токов для каждой из четырех низкосимметричных фаз, приведенных в таблице. Отметим, что при переходе в тригональную $\vec{c} = (c, c, c)$ и тетрагональную $\vec{c} = (c, 0, 0)$ фазы 3-кратное вырождение орбитального состояния может сниматься не полностью. Может оказаться, что основное состояние ниже перехода – это дублет. Тогда снятие этого вырождения произойдет уже при дальнейшем переходе в моноклинную или триклинную фазы.

Низкосимметричные фазы, индуцированные НП F_{1g} группы O_h^7

$\vec{c}$	*ccc*	*occ*	*coo*	$c_1c_2c_3$
G_D	C_{3i}^2	C_{2h}^3	C_{4h}^6	C_i^1

Данная таблица позволяет получить важную информацию о типах орбитального упорядочения, соответствующих приведенным там низкосимметричным фазам. Модуль параметра порядка $\vec{c} = (c_1, c_2, c_3)$ имеет размерность намагниченности, а модуль вектора $\vec{m} = (\eta_6, \eta_7, \eta_8)$ есть величина безразмерная. При этом модуль $\vec{m}$ не

превосходит единицы. Поэтому линейная связь между $\vec{c}$ и $\vec{m}$ должна иметь следующий вид:

$$\vec{c} = An\mu_B\vec{m}; \quad \mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}, \qquad (14)$$

где A – константа; n – число примитивных ячеек в единице объема; μ_B – магнетон Бора. Таким образом, в соответствии с таблицей и соотношением (14) компоненты (η_6, η_7, η_8) восьмимерного ПП $\vec{\eta}$ принимают вполне определенные значения и подчиняются определенным правилам пропорций, тогда как остальные компоненты равны нулю. Подставляя эти значения (η_6, η_7, η_8) в систему уравнений (6), мы получаем возможность вычислить зависимость вероятностей реализации w_i определенных орбитальных состояний от термодинамических параметров, если была определена предварительно зависимость от этих параметров модуля ПП $\vec{c}$. Кроме вероятностей, из той же системы определяются матричные элементы унитарного оператора $\hat{U}$. Это позволяет проследить за изменением спинового и орбитального упорядочений в соответствии с изменением значений термодинамических параметров.

Таким образом, метод локальной матрицы плотности позволяет естественным и непротиворечивым образом объединить методы термодинамики и квантовой механики и построить теорию спин-орбитального фазового перехода и тем самым подтвердить гипотезу Гуденафа [7] и Кугеля – Хомского [4] о существовании таких переходов.

Список литературы

1. Борлаков Х.Ш. Об одном следствии из гипотезы о существовании спин-орбитальных фазовых переходов // Физика металлов и металловедение. – 1999. – Т. 88. – № 1. – С. 19–27.

2. Борлаков Х.Ш. Изменение физических свойств и симметрии кристаллической решетки никеля при изменении температуры // Кристаллография. – 2001. – Т. 46. – № 1. – С. 88–91.

3. Гурин О.В., Будрина Г.Л., Сыромятников В.Н., Термодинамическое описание фазовых переходов в кристаллах с вырожденными локализованными уровнями // ЖЭТФ. – 1989. – Т. 95, Вып. 4. – С. 770–775.

4. Кугель К.И., Хомский Д.И. Эффект Яна-Теллера и магнетизм: соединения переходных металлов // УФН. – 1982. – Т. 136, № 4. – С. 621–664.

5. Сахненко В.П., Таланов В.М., Чечин Г.М. Теоретико-групповой анализ полного конденсата, возникающего при структурных фазовых переходах // ФММ. – 1986. – 62, № 5. – С. 847–856.

6. Blum Karl, Density Matrix Theory and Applications. – New York: Plenum Press, 1996. – 323 p.

7. Goodenough, J.B., Magnetism and Chemical Bond. – N. Y.–Lnd., Interscience Publ., 1963.

8. Ishikawa Y., Sato S., Syono Y. Neutron and Magnetic Studies of a Single Crystal of Fe2TiO4 // Journ. Phys. Soc. Jap. – 1971. – Vol. 31, № 2. – P. 452–460.

9. Kataoka M. Theory of the Giant Magnetostriction in Fe2TiO4 // Journ. Phys. Soc. Jap. – 1974. – Vol. 36, № 2. – P. 456–463.

10. Krupichka S. Physik der Ferrite. – Band 1–2, Prag, Academia, 1973.

11. Nakamura Sh. and Fuva A. Local and dynamic Jahn-Teller distortion in ulvospinel Fe2TiO4 // Hyperfine Interactions April. – 2014. – Vol. 226, Issue 1–3. – P. 267–274.

12. Onyszkiewicz I., Malafaev N.T., Murakhovskii A.A., Pietrzak J. Magnetic EMR Ivestigation of the Structural Phase Transition in Cu-Ferrite with Cooperative Jahn-Teller Effect // Physica. status. solidi. A. – 1982. – Vol. 73. – P. K243–K247.

References

1. Borlakov H.Sh. Ob odnom sledstvii iz gipotezy o sushhestvovanii spin-orbitalnyh fazovyh perehodov, Fizika metallov i metallovedenie. 1999. T. 88. no. 1. pp. 19–27.

2. Borlakov H. Sh. Izmenenie fizicheskih svojstv i simmetrii kristallicheskoj reshetki nikelja pri izmenenii temperatury, Kristallografija. 2001.T. 46. no. 1. pp. 88–91.

3. Gurin O.V., Budrina G.L., Syromjatnikov V.N., Termodinamicheskoe opisanie fazovyh perehodov v kristallah s vyrozhdennymi lokalizovannymi urovnjami, ZhJeTF, 1989, tom 95, vyp. 4, pp. 770–775.

4. Kugel K.I., Homskij D.I. Jeffekt Jana-Tellera i magnetizm: soedinenija perehodnyh metallov, UFN, 1982, T. 136, no. 4, pp. 621–664.

5. Sahnenko V.P., Talanov V.M., Chechin G.M., Teoretiko-gruppovoj analiz polnogo kondensata, voznikajushhego pri strukturnyh fazovyh perehodah, FMM, 1986, 62, no. 5, pp. 847–856.

6. Blum Karl, Density Matrix Theory and Applications, New York: Plenum Press, 1996. 323 p.

7. Goodenough, J.B., Magnetism and Chemical Bond, N. Y.–Lnd., Interscience Publ., 1963.

8. Ishikawa Y., Sato S., Syono Y. Neutron and Magnetic Studies of a Single Crystal of Fe_2TiO_4 *Journ.Phys.Soc.Jap.,* 1971, Vol. 31, no. 2, pp. 452–460.

9. Kataoka M. Theory of the Giant Magnetostriction in Fe_2TiO_4, *Journ. Phys. Soc. Jap.,* 1974 Vol. 36, no. 2, pp. 456–463

10. Krupichka S. Physik der Ferrite. Band 1–2, Prag, Academia,1973.

11. Nakamura Sh. and Fuva A. Local and dynamic Jahn-Teller distortion in ulvospinel Fe2TiO4, *Hyperfine Interactions* April 2014, Vol. 226, Issue 1–3, pp. 267–274.

12. Onyszkiewicz I., Malafaev N.T., Murakhovskii A.A., Pietrzak J. Magnetic EMR Ivestigation of the Structural Phase Transition in Cu-Ferrite with Cooperative Jahn-Teller Effect, Physica. status. solidi. A., 1982., Vol. 73, pp. K243–K247.

Рецензенты:

Диканский Ю.И., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой общей физики, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь;

Эдиев Д.М., д.ф.-м.н., профессор кафедры математики, Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск.

УДК 628.4.08/628.312.5

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРАТА И ЭМИССИИ БИОГАЗА ПРИ ИНТЕНСИВНОМ АНАЭРОБНОМ РАЗЛОЖЕНИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Джамалова Г.А.

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: j.ga@bk.ru

В статье показаны результаты статистического исследования по анализу изменчивости химического состава фильтрата и эмиссии биогаза на основе полученных экспериментальных данных при интенсификации процессов анаэробного разложения твердых бытовых отходов в биореакторах. Согласно проведенным исследованиям выявлено, что высокого производства «обогащенного» метаном (CH_4 = 67%; лимиты 60% и 73%) биогаза (40,42 л) с низким содержанием CO_2 (16%) можно достичь при соблюдении определенных условий загрузки (соотношение ТБО/компост должно составлять 70/30); необходимо наличие кислой фазы (10–31 день); эмиссия биогаза имеет положительную корреляционную зависимость с pH и отрицательную – с такими показателями химического состава фильтрата, как ХПК, БПК$_5$, SO_4^{2-} Cl^-, PO_4^{3-}, HCO_3^-. При этом установлено, что высокий выход биогаза на 36% зависит от качества загружаемой массы отходов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы (ТБО), биореактор, анаэробное разложение, фильтрат, биогаз

ANALYSIS OF VARIABILITY OF CHEMICAL COMPOSITION OF THE FILTRATE AND OF EMISSIONS OF THE BIOGAS UNDER INTENSIVE ANAEROBIC DECOMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Dzhamalova G.A.

Kazakh National Technical University after K.I. Satpayev, Almaty, e-mail: j.ga@bk.ru

The article shows the results of a statistical study on the analysis of variability of the chemical composition of the filtrate and the emissions of biogas based on the experimental data obtained during intensification of the processes of anaerobic decomposition of solid waste in bioreactors. According to the research found that the high the production of «enriched» methane (CH4 = 67%, limits 60% and 73%) of biogas (40,42 liters) with low content of CO2 (16%) can be achieved subject to certain conditions of loading (the ratio of solid waste / compost should be 70/30); must have an acid phase (10–31 days); emission of biogas has a positive correlation with pH, and negative – with such indicators of the chemical composition of the filtrate as COD, BOD$_5$, SO_4^{2-} Cl^-, PO_4^{3-}, HCO_3^-. It was found that a high yield of biogas by 36% dependent on the quality of the loaded masses of the waste.

Keywords: municipal solid waste (MSW), bioreactor, anaerobic digestion, filtrate, biogas

Изучение качественного преобразования продуктов разложения ТБО в биореакторе имеет практическое значение для поиска решений по интенсификации процессов анаэробного разложения ТБО, обезвреживанию фильтрата и обеспечению высокого выхода биогаза с «обогащенным» содержанием метана.

Цель исследования – статистический анализ изменчивости химического состава фильтрата и эмиссии биогаза при интенсивном анаэробном разложении ТБО.

Материал и методы исследования

Материалом исследования послужили продукты разложения ТБО (биогаз, фильтрат) в биореакторах (№ 1, 2 и 3) малого объема (8,8 л) при разных условиях загрузки (табл. 1).

Таблица 1

Материальный поток при разложении ТБО в биореакторе

№ п/п	Протокол загрузки	Биореактор №		
		1	2	3
1	Загружено, г: ТБО Компост	1540 660	1152 1152	0 3000
2	Добавлено дистиллированной воды, мл	1504	1430	1005
3	Отобрано фильтрата на анализ	1964	1794	1998
4	Произведено биогаза, л	40,42	35,40	1,07

Как видно из табл. 1, условия загрузки трех биореакторов существенно различались по содержанию компоста (30; 50 и 100 % соответственно для биореактора № 1, 2 и 3), влажности загружаемых ТБО (29,8; 27,1 и 41,5 % соответственно) и pH (6,42; 6,76 и 7,33 соответственно). При этом 80 % в составе ТБО составляли отходы органической и 20 % неорганической природы. Всего же загружено отходов в биореакторы 2200, 2304 и 3000 г соответственно. При этом общий водный режим для биореакторов составил 2946, 2730 и 2785 мл, а полученный при разложении биогаз в среднем содержал метана 67, 60 и 0,06 % соответственно [1, 2, 5]. Пробы отбирались на 9, 17, 24, 31, 46, 51, 58, 65, 72, 79, 86, 93, 100, 107, 114 и 128-й день эксперимента [2]. Анализ по химическому составу проб фильтрата и эмиссии биогаза был проведен с использованием методов математической статистики [3].

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе исследования для изучения условий образования биогаза при интенсификации процессов разложения ТБО в биореакторах был проведен вариационно-статистический анализ по химическим показателям фильтрата (рис. 1, 2) и количеству образуемого в процессе анаэробного разложения ТБО биогаза (рис. 3).

Рис. 1. Химический состав фильтрата, образующегося в биореакторе:
МБ 1; МБ 2; МБ 3;
а – pH; б – электропроводность, мСм/см; в – ХПК, мгО/л; г – БПК, мгО²/л;
д – HCO_3^-, мг/л; е – PO_4^{3-}, мг/л

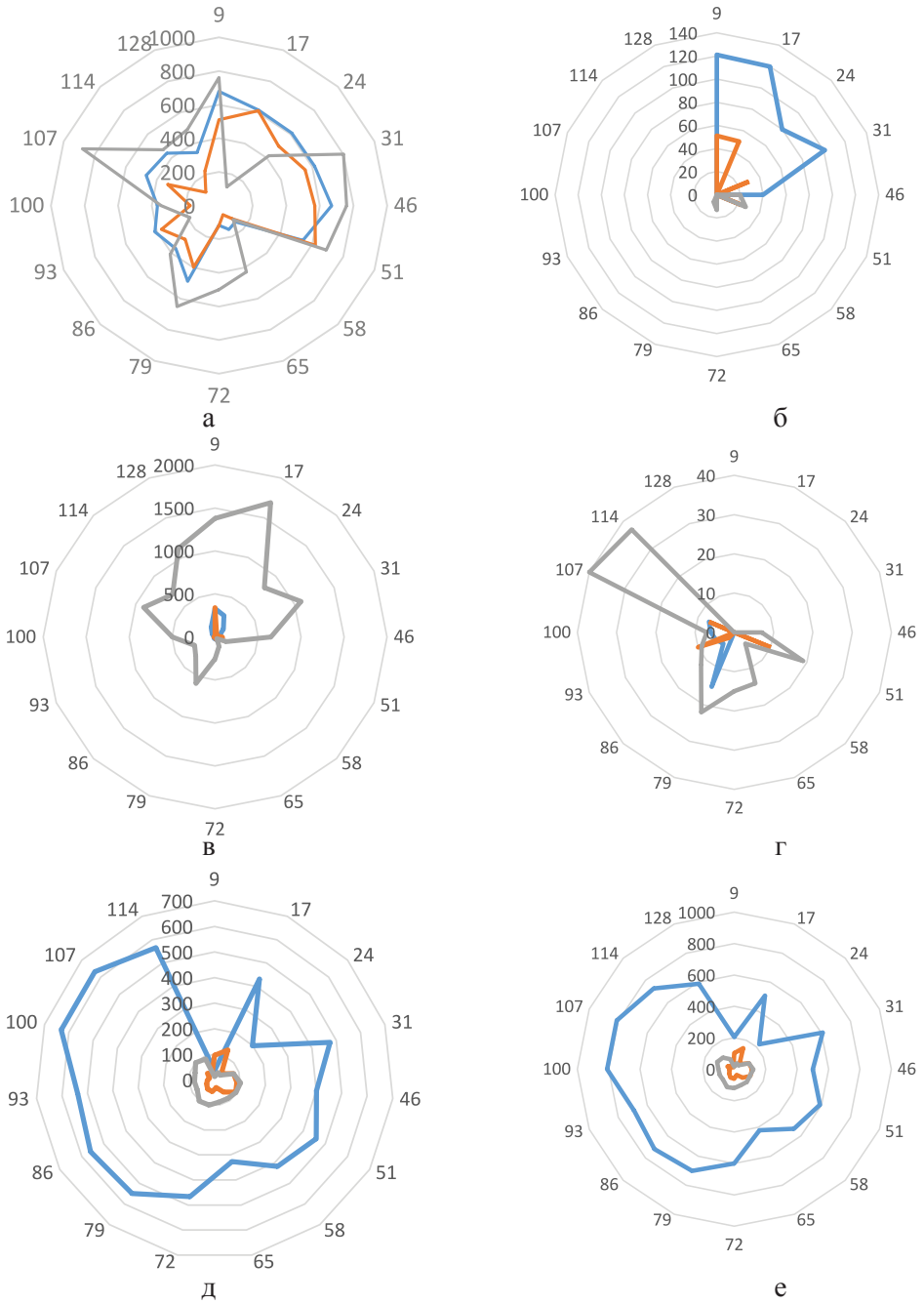


Рис. 2. Химический состав фильтрата, образующегося в биореакторе:
МБ 1; МБ 2; МБ 3;
а – Cl^-, мг/л; б – NO_2^-, мг/л; в – SO_4^{2-}, мг/л; г – NO_3^-, мг/л; д – N общ., мг/л; е – NH_4^+, мг/л

Как видно из рис. 1, а, при интенсификации процессов разложения ТБО в биореакторах образование биогаза для рассматриваемого интервала эксперимента проходило в слабощелочных условиях, в среднем при pH воды, равном 7,47 ± 0,25 (биореактор № 1), 7,47 ± 0,53 (биореактор № 2) и 7,95 ± 0,02 (биореактор № 3). При этом изменчивость рассматриваемого показателя относительно более высока для биореактора № 1 (13,4 %) по сравнению с биореакторами № 2 (2,7 %) и № 3 (0,9 %).

Так как вычисленные значения достоверности ($t_{\bar{x}}$) намного больше табличных значений t на трех уровнях вероятности (2,13; 2,95;4,07) [3, 323 с], то можно считать полученные средние арифметические высоко достоверными.

Следует отметить, что за весь период эксперимента для трех биореакторов не было зафиксировано резких колебаний pH. Так, в условиях биореактора № 1 наименьший показатель pH воды (5,45) был зарегистрирован на 17-й, а наибольший (8,28) – на 93-й день эксперимента, тогда как в условиях биореактора № 2 – на 9-й (6,97) и 46-й (8,06), а в условиях биореактора № 3 – на 9-й (7,84) и 31-й (8,05) день эксперимента соответственно. Как видим, кислая среда по показателям pH была характерна для биореактора № 1 до 17-го дня эксперимента. Также следует отметить, что уже через 29 дней, на 46-й день эксперимента, когда pH находился на уровне 8,08, общая эмиссия биогаза возросла почти в 157 раз, достигнув 19,96 л.

Средняя электропроводность фильтрата (рис. 1, б) для трех биореакторов соответственно составила 9,57 ± 0,49 (лимиты: 7,52 на 128-й и 14,28 на 24-й день эксперимента), 6,3 ± 0,43 (лимиты: 4,17 на 107-й и 10,07 на 17-й день эксперимента) и 8,36 ± 0,31 (лимиты: 6,85 на 107-й и 10,33 на 17-й день эксперимента) мСм/см. При этом высокая вариация была отмечена для биореактора № 2 (27,1 %), низкая – для биореактора № 3 (8,36 %).

Анализ показателей ХПК и $БПК_5$ в фильтрате (рис. 1; в, г) показал, что высокие средние данные для ХПК (5778,12 ± 1940,9 мгО/л) и $БПК_5$ (10840 $мгО^2$/л) были зафиксированы в биореакторе № 1, тогда как в других биореакторах показатели ХПК и $БПК_5$ были намного меньше по сравнению с показателями биореактора № 1: в биореакторе № 2 – в 2,2 раза для ХПК (2620,93 ± 773,9 мгО/л) и в 3,4 раза для $БПК_5$ (999,76 ± 575,6 $мгО^2$/л) и в биореакторе № 3 – в 4,5 раза как для ХПК (1278,12 ± 89,2 мгО/л), так и для $БПК_5$ (69,87 ± 20,1 $мгО^2$/л). Необходимо отметить, что более высокая изменчивость по ХПК была характерна для первого (134,4 %) и второго (118,1 %) биореактора, тогда как для третьего биореактора изменчивость не превысила 27,9 %. По $БПК_5$ высокая вариация отмечена для биореактора № 2 (224,5 %), далее по изменчивости следовал биореактор № 1 (158,4 %) и № 3 (112,2 %). Особенностью было то, что для всех трех биореакторов чем дальше по времени продвигался эксперимент, тем ниже становились значения ХПК и $БПК_5$. Так, для биореактора № 1 в начале эксперимента (9-й день) ХПК составляло 14850 мгО/л, а $БПК_5$ – 10840 $мгО^2$/л, то в конце эксперимента (128-й день) соответственно 1100 мгО/л и 131,3 $мгО^2$/л. То же самое происходило в биореакторах № 2 (6320 и 930 мгО/л; 3860 и 58,7 $мгО^2$/л) и № 3 (1260 и 670 мгО/л; 320 и 19 $мгО^2$/л) соответственно.

Таким образом, согласно показателям ХПК и $БПК_5$ можно утверждать, что от начала эксперимента кислая среда в первом биореакторе держалась 31 день (13300 мгО/л, 10532 $мгО^2$/л), во втором – 24 дня (5560 мгО/л, 8310 $мгО^2$/л), после чего процесс разложения ТБО перешел в метановую фазу, тогда как для биореактора № 3 весь процесс разложения в период исследования протекал при метановой фазе (лимиты: 710 – 1260 мгО/л и 19 – 320 $мгО^2$/л) [4, с. 34].

Анализ ионов HCO_3^- (рис. 1, д) показал, что их среднее содержание в биореакторах № 1–3 соответственно было 3916,43 ± 156,15 (лимиты: 2750 на 24-й и 4942 на 86-й день) 2853,81 ± 174,55 (лимиты: 1983 на 128-й и 4169 на 17-й день) и 2772,4 ± 156,3 (лимиты: 1983 на 128-й и 4678 на 9-й день) мг/л. Особенностью является то, что показатель вариации для трех биореакторов был незначительным (16–25 %).

Анализ ионов сульфата SO_4^{2-} (рис. 2, в) показал, что их среднее содержание существенно отличалось и зависело от качества загружаемого в биореактор состава ТБО. Так, наименьшее среднее (41,25 ± 21,15 мг/л) при высокой вариации (205 %) было характерно для биореактора № 2 (лимиты: 0–340 мг/л), наибольшее (657,87 ± 120,49 мг/л) при низкой вариации (73 %) – для биореактора № 3 (лимиты: 143–1690 мг/л).

Показатели фильтрата по ионам Cl^- (438,81 ± 46,18; 356,43 ± 49,38; 502,06 ± 59,88 мг/л) и PO_4^{3-} (1,95 ± 0,14; 1,08 ± 0,16; 1,45 ± 0,16 мг/л) для трех биореакторов примерно находились на одном уровне, при этом изменчивость была относительно невысокой и варьировала в пределах 43–57 % для Cl^- и 29–54 % для PO_4^{3-} (рис. 1, е; рис. 2, а).

Средние показатели по общему содержанию азота были для первого биореактора выше (446,7 ± 38,9 мг/л), чем для третьего (75,8 ± 7,2 мг/л) и второго (53,9 ± 8,3 мг/л) биореактора. При этом высокие показатели вариации были характерны для второго биореактора (62 %; лимиты: 21,8 мг/л на 100-й день и 94,8 мг/л на 51-й день) по сравнению с третьим (38 %; лимиты: 13,2 мг/л на 9-й день и 101,8 мг/л на 46-й день) и первым (35 %; лимиты: 36,8 мг/л на 9-й день и 631,6 мг/л на 107-й день) биореактором.

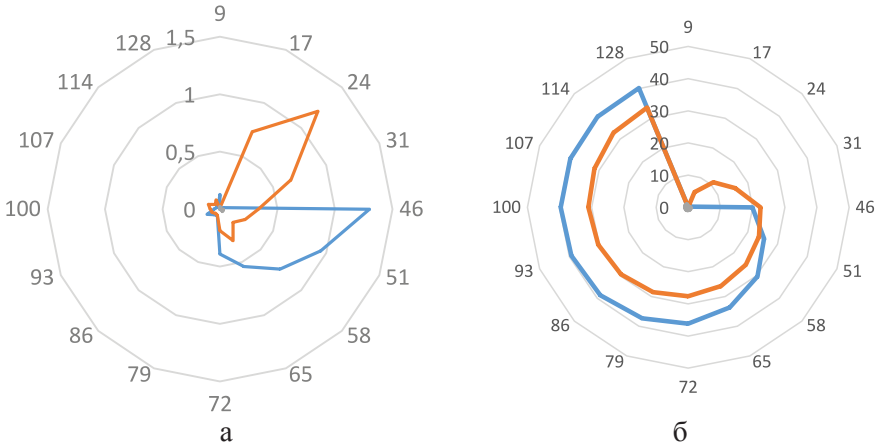


Рис. 3. Производство биогаза в биореакторах:
МБ 1; МБ 2; МБ 3;
а – ежедневная, л; б – общая, л

Как видно из рис. 3, процесс разложения ТБО в биореакторах сопровождается также образованием биогаза, в среднем равном 0,28 ± 0,1 (биореактор № 1), 0,27 ± 0,1 (биореактор № 2) и 0,001 (биореактор № 3) л. Так как вычисленные значения достоверности ($t_{\bar{x}}$) больше табличных значений t при уровне вероятности 0,99 (2,13; 2,95;4,07) [3, 323 с], то можно считать полученные средние арифметические достоверными. При этом изменчивость рассматриваемого показателя более высока для биореактора № 1 (143 %; лимиты: 0 на 17-й и 1,3 л на 46-й день) по сравнению с биореакторами № 2 (122 %; лимиты: 0,01 на 9-й и 0,3 л на 46-й день) и № 3 (0; лимиты: 0 на 24-й и с 65-го дня эксперимента до конца и 0,02 л на 9-й день). Как видим, процесс образования биогаза при разложении ТБО в биореакторах протекал неравномерно и зависел как от качества загружаемой массы ТБО, так и от химического состава фильтрата. Поэтому было интересно изучить силу связи между эмиссией биогаза с отдельными химическими показателями фильтрата.

В результате проведенных исследований было определено, что в целом показатели силы связи между общей эмиссией биогаза и основными химическими показателями фильтрата относительно высоки: для первого биореактора были высоки между общей эмиссией биогаза и pH (+0,8), ХПК и БПК$_5$ (–0,9), а также SO_4^{2-} (–0,8), выше среднего с PO_4^{3-} и HCO_3^- (–0,6), Cl^- и N_Σ (–0,7); для второго биореактора показатель силы связи был высок для общей эмиссии биогаза с ХПК и БПК$_5$ (–0,8), выше среднего – с SO_4^{2-} (–0,7) и pH (0,6), низок – с ионами PO_4^{3-} и HCO_3^- (–0,3); для третьего биореактора наиболее высокая корреляция наблюдается с общим азотом (+ 0,9) и низкая с pH (+ 0,1), после чего в порядке убывания следует связь с ХПК (–0,4), БПК$_5$ (–0,5), ионами SO_4^{2-}, PO_4^{3-} и HCO_3^- (–0,7).

Следует обратить внимание, что полученные по разным биореакторам показатели силы связи указывают на важность соблюдения общих химических параметров условий метаногенеза. Резюмируя, можно отметить, что минимальное содержание компоста в разлагаемой массе отходов (в нашем случае 30 %) способствует наибольшему выходу биогаза (40,42 л), а максимальное содержание компоста (100 %), наоборот, сопровождается минимальной эмиссией биогаза (1,07 л).

На следующем этапе для изучения особенностей варьирования исследуемых признаков благодаря влиянию различных факторов был применен метод дисперсионного анализа. Известно, что различные факторы действуют на процесс образования биогаза независимо друг от друга с различной силой и в различных направлениях. В результате такого воздействия варьирующий признак, в нашем случае эмиссия биогаза, приобретает какую-то определенную величину изменчивости. Эти факторы могут быть учтенными (x), т.к. они изучаются и контролируются в опыте, и неучтенными (z), которые хотя и оказывают влияние на изменчивость признака, но в опыте не учитываются и не контролируются.

Основной задачей для данного этапа было выявлении степени влияния такого фактора, как качество загружаемой в биореактор массы отходов на эмиссию биогаза.

Согласно методике [3, с. 159] нами определено, что доля изменчивости эмиссии биогаза на 36% обусловлена влиянием качества загружаемой массы отходов и на 64% обусловлена влиянием других неучтенных в опыте факторов. Табличное значение F для данного примера при трех уровнях вероятности равно: $F_{0,95} = 1,6839$; $F_{0,99} = 2,0211$; $F_{0,999} = 2,7045$. В нашем примере вычисленное F равно 12,8, следовательно, влияние качества загружаемых в биореактор отходов достоверно. Поскольку нулевую гипотезу отвергают на 1%-ном уровне значимости ($F_ф > F_{st}$, $P < 0,01$), следовательно, с вероятностью более 99% можно заключить, что имеющаяся разница между биореакторами по общей эмиссии биогаза не является случайной.

Заключение

Согласно проведенным исследованиям можно заключить, что высокое производство «обогащенного» метаном (CH_4 = 67%; при лимитах 60 и 73%) биогаза (всего: 40,42 л) можно достичь при соблюдении условий загрузки биореактора № 1:

1) содержание компоста в массе отходов не должно превышать 30%;

2) необходимо наличие кислой фазы (10–31 день);

3) эмиссия биогаза имеет положительную корреляционную зависимость с pH и отрицательную с такими показателями химического состава фильтрата, как ХПК, $БПК_5$, SO_4^{2-}, Cl^-, PO_4^{3-}, HCO_3^-;

4) при интенсификации анаэробного разложения ТБО высокое производство биогаза на 36% обусловлено влиянием качества загружаемой массы отходов.

Список литературы

1. Джамалова Г.А. Интенсификация анаэробного разложения модельных образцов твердых бытовых отходов в биореакторах // Известия СПбГТИ(ТУ). – СПб., 2014. – № 23 (49). – С. 84–86.

2. Джамалова Г.А. Количественный и качественный состав фильтрата, получаемого из биореактора при ускоренной биодеградации твердых бытовых отходов // Известия СПбГТИ(ТУ). СПб., 2014. – № 24 (50). – С. 73–77.

3. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М., Высшая школа. 1990. – 349 с.

4. Потапов П.А. Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Потапов П.А., Пупырев Е.И., Потапов А.Д. – М.: Изд. ассоциации строительных вузов. 2004. – 168 с.

5. Project No.516732. Project acronym: NISMIST. Project title: Management of environmental risks associated with landfills in seismically active regions in the New Independent States (NIS) of Central Asia. – 2008. – 91 p. – URL: http://www.ist-world.org (дата обращения: 3.02.2010).

References

1. Dzhamalova G.A. Intensifikacija anajerobnogo razlozhenija modelnyh obrazcov tverdyh bytovyh othodov v bioreaktorah // Izvestija SPbGTI(TU). SPb., 2014. no. 23 (49). pp. 84–86.

2. Dzhamalova G.A. Kolichestvennyj i kachestvennyj sostav filtrata, poluchaemogo iz bioreaktora pri uskorennoj biodegradacii tverdyh bytovyh othodov // Izvestija SPbGTI(TU). SPb., 2014. no. 24 (50). pp. 73–77.

3. Lakin G.F. Biometrija. M., Vysshaja shkola. 1990. 349 p.

4. Potapov P.A. Metody lokalizacii i obrabotki filtrata poligonov zahoronenija tverdyh bytovyh othodov / Potapov P.A., Pupyrev E.I., Potapov A.D. M.: Izd. associacii stroitelnyh vuzov. 2004. 168 p.

5. Project No.516732. Project acronym: NISMIST. Project title: Management of environmental risks associated with landfills in seismically active regions in the New Independent States (NIS) of Central Asia. 2008. 91 p. URL: http://www.ist-world.org (data obrashhenija: 3.02.2010).

Рецензенты:

Еликбаев Б.К., д.б.н., профессор кафедры «Экология», декан факультета «Агробиология и фитосанитария», Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы;

Тлеукулов А.Т., д.с.-х.н., профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы.

УДК 613.71-057.874:614.7

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ УЧАЩИХСЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА)

Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Иванов А.Г.

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», Ангарск, e-mail: medecolab@inbox.ru

В статье представлены результаты оценки данных мониторинга физической подготовленности учащихся Иркутской области. Проведен сравнительный анализ развития физических качеств у учащихся по образовательным ступеням. У школьников Иркутской области удельный вес лиц, выполняющих контрольные тесты на нормативном уровне, составляет только 28 ± 0,8 %. С возрастом повышается уровень развития отдельных физических качеств (силы, выносливости, скорости, координации, гибкости). В средних классах по сравнению с учащимися младшего и старшего звена выше доля лиц с низким уровнем развития комплекса физических качеств: силы, координации, скорости, выносливости, скоростно-силовых способностей. У школьников с низким уровнем физической подготовленности выявлены гендерные различия. У мальчиков выше удельный вес лиц, не выполняющих норматив по тесту «подтягивание на верхней перекладине», у девочек – по тесту «прыжок в длину». Обоснованы направления совершенствования педагогической деятельности по повышению уровня развития физической подготовленности учащихся в современных условиях.

Ключевые слова: мониторинг физической подготовленности, учащиеся, общий уровень физической кондиции

EVALUATION OF PHYSICAL PREPAREDNESS OF SCHOLSTUDENTS OF IRKUTSK REGION (ACCORDING TO THE MONITORING)

Efimova N.V., Mylnikova I.V., Ivanov A.G.

FSBSI «East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research», Angarsk, e-mail: medecolab@inbox.ru

The article presents the results of the monitoring data of physical readiness of schoolstudents of the Irkutsk region. A comparative analysis of the physical qualities of schoolstudents on educational steps. The Irkutsk schoolstudents the proportion of persons who perform control tests at the normative level, is only 28 ± 0,8 %. With age increases the level of development of certain physical qualities (strength, endurance, speed, coordination, flexibility). In the middle grades, compared with schoolstudents of junior and senior higher proportion of people with low levels of complex physical qualities: strength, coordination, speed, endurance. Schoolchildren with low levels of physical fitness revealed gender differences. Boys have higher proportion of individuals who do not meet the specification of the test, «pulling up on the top rung», the girls – on the test «long jump». The directions of improvement of educational activities to improve the development of physical fitness of schoolstudents in modern conditions.

Keywords: monitoring of physical fitness, schoolstudents, the general level of physical fitness

Физическая подготовленность общепризнанно считается одним из показателей, отражающих качество физического здоровья и уровень двигательной активности подрастающего поколения. В настоящее время отмечается снижение физической подготовленности по скоростным способностям и скоростной выносливости учащихся. Уровень двигательных возможностей современных школьников достигает лишь 60 % от результатов их ровесников 80–90-х годов [1]. Совершенствование системы физического воспитания и сохранение здоровья учащихся возможно при осуществлении мониторинга показателей физической подготовленности. Реализация систематического наблюдения (контроля) за результатами физической подготовки школьников обеспечивает: выявление лиц с низким, средним и высоким уровнем физических качеств; коррекцию физических качеств у ослабленных учащихся; формирование ценностных ориентиров на физическое развитие личности, появление мотивации к регулярным занятиям физическими упражнениями [9]. Вышеизложенное послужило основанием для проведения мониторинга физической подготовленности у учащихся общеобразовательных учреждений Иркутской области.

Цель исследования – оценить по данным мониторинга физическую подготовленность учащихся Иркутской области.

Материал и методы исследования

Проведена оценка физической подготовленности по результатам выполнения тестовых методик: челночный бег 3×10, направленный на оценку координации, прыжок в длину с места (оценка скоростной силы), подтягивание на высокой перекладине (оценка силы у мальчиков), подтягивание на низкой перекладине (оценка силы у девочек), бег 30 м

со старта (оценка быстроты), бег 1000 м (оценка выносливости), наклон вперед (оценка гибкости). Тестовые методики подобраны в соответствии с рекомендациями Федерального агентства по физической культуре, спорту и туризму Российской Федерации. Для интегральной оценки физической подготовленности рассчитывали показатель «общий уровень физической кондиции» (ОУФК). Показатель ОУФК объединяет в себе результаты по перечисленным тестам. Уровень ОУФК определяли по критериям автора: очень низкий – от (–1,01) и менее; низкий – от (–0,61) до (–1,0); ниже среднего – от (–0,21) до (–0,60); средний – от 0,2 до (–0,20); выше среднего – от 0,2 до 0,6; высокий – от 0,61 и более [3].

Информация о выполнении тестовых методик собрана в общеобразовательных учреждениях Иркутской области ($n = 3150$) и обобщена в информационной базе данных «Показатели физической подготовленности обучающихся общеобразовательных учреждений Иркутской области» (Св-во о гос. рег. базы данных № 2014621493 от 27 октября 2014 г.). Статистическая обработка данных проведена с помощью разработанной авторами программы для ЭВМ «Оценка уровня физической подготовленности детей и подростков» (Св-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2014619971 от 26 сентября 2014 г.). Различия между показателями частоты изучаемых явлений оценивали по критерию t-Стьюдента, за статистически значимые принимали различия при $p < 0,05$. Для изучения взаимосвязи динамики изменений показателей физической подготовленности в зависимости от возраста использован регрессионный анализ. Качественную оценку изменения показателей проводили по коэффициенту детерминации аппроксимации (R^2) согласно шкале Чеддока, которая определяет значения коэффициента 0,1–0,3 – как слабые, 0,3–0,5 – умеренные, 0,5–0,7 – заметные, 0,7–0,9 – высокие, 0,9–0,99 – весьма высокие [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Среднегрупповые значения результатов выполнения тестов, предусмотренных учебной программой, представлены в табл. 1. Регрессионный анализ динамики изменений показателей физической подготовленности в зависимости от года обучения в школе свидетельствует, что с возрастом показатели улучшаются. Развитие с возрастом подчиняется отрицательной регрессионной зависимости в следующих тестах: челночный бег – $y = -0,2702x + 10,354$; бег на 30 м – $y = -0,1893x + 6,2429$ и бег на 1000 м – $y = -0,444x + 7,7107$. Положительная регрессионная зависимость отмечена при формировании: *скоростно-силовых способностей* (прыжок в длину) – $y = 7,8107x + 130,74$; *гибкости* (наклон вперед) – $y = 1,4464x + 7,6286$; *силы у мальчиков* (подтягивание на высокой перекладине) – $y = 1,4464x + 7,6286$; *силы у девочек* (подтягивание на низкой перекладине) – $y = 1,4464x + 7,6286$. Согласно качественной оценке коэффициентов аппроксимации по шкале Чеддока, темпы развития скорости ($R^2 = 0,97$) и скоростно-силовых способностей ($R^2 = 0,93$) являются – весьма высокими; гибкости ($R^2 = 0,90$), силы у мальчиков ($R^2 = 0,77$) и координации ($R^2 = 0,74$) – высокими; выносливости ($R^2 = 0,67$) – заметными. Формирование силы у девочек оценивается как слабое ($R^2 = 0,14$).

Проведена оценка показателя ОУФК у школьников 2–10 классов. Учитывая, что на индивидуальном уровне результаты выполнения контрольных тестов не всегда укладываются в варианты условной нормы («хорошо» и «отлично»), мы определили удельный вес лиц, не справляющихся с нормативами. Установлено, что только 28 ± 0,8 % школьников 2–10 классов Иркутской области выполняют контрольные тесты на уровне нормативных значений. Таким образом, значительная доля (72 ± 0,8 %) протестированных школьников области не справляется с установленными требованиями к физическим возможностям.

Таблица 1

Возрастная динамика изменений результатов выполнения контрольных тестов школьниками Иркутской области (M ± m)

Контрольные тесты	Классы							
	2 $n = 323$	4 $n = 354$	5 $n = 427$	6 $n = 751$	7 $n = 291$	8 $n = 260$	9 $n = 548$	10 $n = 398$
Челночный бег, 3×10, мин	10,7 ± 0,06	9,2 ± 0,02	9,8 ± 0,02	8,9 ± 0,01	8,8 ± 0,01	8,8 ± 0,01	8,5 ± 0,02	8,4 ± 0,02
Прыжок в длину, см	129,4 ± 0,07	152,4 ± 0,09	157,9 ± 0,02	164,1 ± 0,06	173,5 ± 0,1	172 ± 0,1	186,2 ± 0,09	191,6 ± 0,1
Бег на 30 м, с	–	6,1 ± 0,02	5,9 ± 0,01	5,6 ± 0,01	5,4 ± 0,01	5,3 ± 0,01	5,2 ± 0,02	4,9 ± 0,03
Бег на 1000 м, мин	8,8 ± 1,1	5,9 ± 0,02	5,7 ± 0,02	5,6 ± 0,02	5,2 ± 0,02	5,1 ± 0,03	4,9 ± 0,03	4,5 ± 0,03
Наклон вперед, см	–	10,6 ± 0,2	9,9 ± 0,1	10,7 ± 0,2	13,2 ± 0,2	15,1 ± 0,2	15,5 ± 0,2	18,9 ± 0,3
Подтягивание на высокой перекладине, у.е.	4,3 ± 0,3	4,4 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,9 ± 0,1	6,3 ± 0,2	9,5 ± 0,09	10,1 ± 0,1
Подтягивание на низкой перекладине, у.е.	8,4 ± 0,1	21,9 ± 0,1	22,3 ± 0,1	16,5 ± 0,1	27,6 ± 0,2	25,7 ± 0,2	19,4 ± 0,1	18,1 ± 0,1

Таблица 2

Удельный вес школьников Иркутской области
с низким уровнем выполнения тестовых заданий (P ± p)

Тестовые задания	7–10 лет (1)	11–14 лет (2)	15–17 лет (3)	Достоверность различий по t-критерию Стьюдента
Челночный бег, 3×10, мин.	33,7 ± 1,8	48,1 ± 1,4	26,9 ± 1,6	$^{1-2}p < 0,05$ $^{2-3}p < 0,05$
Прыжок в длину, см	27,8 ± 1,7	34,8 ± 1,2	33,1 ± 1,6	$^{1-2}p < 0,05$ $^{1-3}p < 0,05$
Бег на 30 м, с	22,3 ± 3,2	47,4 ± 1,5	44,4 ± 2,9	$^{1-2}p < 0,05$ $^{1-3}p < 0,05$
Бег на 1000 м, мин	57,1 ± 3,7	44,4 ± 1,4	40,4 ± 2,9	
Наклон вперед, см	21,8 ± 3,1	27,6 ± 1,5	17,8 ± 2,9	$^{2-3}p < 0,05$
Подтягивание на высокой перекладине, у.е.	35,3 ± 2,9	50,1 ± 2,1	27,9 ± 2,2	$^{1-2}p < 0,01$ $^{2-3}p < 0,01$
Подтягивание на низкой перекладине, у.е.	23,8 ± 2,6	15,5 ± 1,4	24,8 ± 2,1	$^{1-2}p < 0,01$ $^{2-3}p < 0,01$

Отмечено, что у школьников начальных классов (7–10 лет) чаще всего выявляется недостаточное развитие таких физических качеств, как выносливость (бег на 1000 м), сила (подтягивание на высокой перекладине) и координация (челночный бег) (табл. 2). У обучающихся в средних классах (11–14 лет) велика доля лиц с низким уровнем развития силы (особенно среди мальчиков), координации, скорости, выносливости, скоростно-силовых качеств. В старшей возрастной группе высок удельный вес лиц с низким уровнем выносливости, скорости, скоростно-силовых способностей. Интересно отметить, что у учащихся средних классов практически по всем контрольным тестам доля лиц, не справляющихся с нормативами, статистически значимо выше, чем в других возрастных группах. Установленный факт можно объяснить тем, что в среднем в 11–14 лет происходит начало полового созревания (12–16 лет – у мальчиков и 11–15 лет – у девочек). Нейроэндокринные изменения, происходящие в этот период, представляют серьезную нагрузку для растущего организма [1].

Выявлены гендерные особенности физических возможностей у школьников ($p < 0,05$). В физической подготовке мальчиков слабым звеном является развитие силовых качеств, удельный вес мальчиков, подтянувшихся ниже нормативного уровня, в 5–10 классах составил 48,7–65,1 %. У девочек велика доля лиц с низкими скоростно-силовыми возможностями. Так, тест «прыжок в длину» выполняют ниже нормативного уровня 34,9–41,8 % девочек 5–10 классов. Отмечено также, что среди школьников 5–10 классов низкий уровень выносливости отмечен у 18,8–40,9 % мальчиков и 9,3–26,8 % девочек.

Таким образом, оценка развития физических качеств выявила неоднородность популяции школьников по уровню физической подготовки. Характерно, что всего лишь одна третья часть обследованных учащихся выполняет тестовые задания на нормативном уровне. Полученные нами результаты подтверждаются данными многочисленных исследований физической подготовленности школьников Белгородской, Свердловской, Тюменской областей, Амурской области, Хабаровского края, выполненных в различные годы [2, 4, 6, 7, 10]. Характерно, что ситуация с низким уровнем физической подготовленности школьников отражает не только многолетние тенденции, но и общероссийский характер проблемы физического воспитания в школах. Одной из причин, по мнению А.С. Солодкова [8], является тот факт, что занятия в школе физической культурой составляют 11 % от необходимого уровня физической активности. Серьезность проблемы обусловлена тем, что школьники с низким уровнем физической подготовленности в большей степени, чем лица с высоким уровнем указанного показателя, подвержены риску возникновения нарушений здоровья. Представленные материалы свидетельствуют об актуальности совершенствования учебной программы по физической культуре в интересах повышения спортивной подготовки и укрепления здоровья школьников с низким уровнем физической подготовленности.

Выводы

1. Установлено, что у школьников Иркутской области удельный вес лиц, выполняющих контрольные тесты на нормативном уровне, составляет только 28 ± 0,8 %.

2. В средних классах, по сравнению с учащимися младшего и старшего звена, наиболее высока доля лиц с низким уровнем развития комплекса физических качеств: силы, координации, скорости, выносливости, скоростно-силовых способностей.

3. У школьников с низким уровнем физической подготовленности выявлены гендерные различия: среди мальчиков наиболее высок удельный вес лиц, не выполняющих норматив по тесту «подтягивание на верхней перекладине», среди девочек – по тесту «прыжок в длину».

Список литературы

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Ильин А.Г. Сохранение и укрепление здоровья подростков – залог стабильного развития общества и государства (состояние проблемы) // Вестник РАМН. – 2014. – № 5–6. – С. 65–70.

2. Жаворонков С.В. Функционально-кондиционная подготовленность школьников подросткового возраста [Электронный ресурс] // Sci-article – 2014. URL: http//www.sci-article.ru/stat.php?i = 1396896773 (Доступ: 26.06.2015).

3. Ланда Б.Х. Методика комплексной оценки физического развития и физической подготовленности. – Изд-во: Советский спорт, 2011. – 348 с.

4. Лигута А.В. Социально-педагогический мониторинг здоровья, физической активности и образа жизни школьников Хабаровского края // Научно-теоретический журнал «Ученый записки университета имени П.Ф.Лесгафта». – 2010. – № 11 (69). – С. 51–55.

5. Медик В.А., Токмачев М.С., Фишман Б.Б. Статистика в медицине и биологии: Руководство: В 2-х т. / под ред. Ю.М. Комарова. Т. 2. Прикладная статистика здоровья. – М.: Медицина, 2006. – 352 с.

6. Семенов Л.А. Мониторинг кондиционной физической подготовленности в образовательных учреждениях: состояние, проблемы, перспективы: моногр. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2005. – 168 с.

7. Синявский Н.И., Китайкина Н.А. Мониторинг физической подготовленности и здоровья школьников Среднего Приобья // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 3. – С. 62–63.

8. Солодков А.С. Физическое и функциональное развитие и состояние здоровья школьников и студентов России // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2013. – № 3 (97). – С. 163–171.

9. Чернейкин А.С. Мониторинг физической подготовленности учащихся и возможности использования его результатов в процессе физического воспитания // Science Time. –2014. – № 12 (12). – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-fizicheskoy-podgotovlennosti-uchaschihsya-i-vozmozhnosti-ispolzovaniya-ego-rezultatov-v-protsesse-fizicheskogo (Доступ: 22.06.2015).

10. Юречко О.В. Физическое развитие и физическая подготовленность в системе мониторинга состояния физического здоровья школьников // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3–2. – С. 324–327; URL: www.rae.ru/fs/?section = content&op = show_article&article_id = 7982162 (Доступ: 22.06.2015).

References

1. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Ilin A.G. Sohranenie i ukreplenie zdorovja podrostkov zalog stabilnogo razvitija obshhestva i gosudarstva (sostojanie problemy) // Vestnik RAMN. 2014. no. 5–6. pp. 65–70.

2. Zhavoronkov S.V. Funkcionalno-kondicionnaja podgotovlennost shkolnikov podrostkovogo vozrasta [Jelektronnyj resurs] // Sci-article 2014. URL: http//www.sci-article.ru/stat.php?i = 1396896773 (Dostup: 26.06.2015).

3. Landa B.H. Metodika kompleksnoj ocenki fizicheskogo razvitija i fizicheskoj podgotovlennosti. Izd-vo: Sovetskij sport, 2011. 348 p.

4. Liguta A.V. Socialno-pedagogicheskij monitoring zdorovja, fizicheskoj aktivnosti i obraza zhizni shkolnikov Habarovskogo kraja // Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Uchenyj zapiski universiteta imeni P.F.Lesgafta». 2010. no. 11 (69). pp. 51–55.

5. Medik V.A., Tokmachev M.S., Fishman B.B. Statistika v medicine i biologii: Rukovodstvo: V 2-h t. / pod red. Ju.M. Komarova. T. 2. Prikladnaja statistika zdorovja. M.: Medicina, 2006. 352 p.

6. Semenov L.A. Monitoring kondicionnoj fizicheskoj podgotovlennosti v obrazovatelnyh uchrezhdenijah: sostojanie, problemy, perspektivy: monogr. Ekaterinburg: Izd-vo Ros. gos. prof.-ped. un-ta, 2005. 168 p.

7. Sinjavskij N.I., Kitajkina N.A. Monitoring fizicheskoj podgotovlennosti i zdorovja shkolnikov Srednego Priobja // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2009. no. 3. pp. 62–63.

8. Solodkov A.S. Fizicheskoe i funkcionalnoe razvitie i sostojanie zdorovja shkolnikov i studentov Rossii // Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2013. no. 3 (97). pp. 163–171.

9. Chernejkin A.S. Monitoring fizicheskoj podgotovlennosti uchashhihsja i vozmozhnosti ispolzovanija ego rezultatov v processe fizicheskogo vospitanija // Science Time. –2014. no. 12 (12). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-fizicheskoy-podgotovlennosti-uchaschihsya-i-vozmozhnosti-ispolzovaniya-ego-rezultatov-v-protsesse-fizicheskogo (Dostup: 22.06.2015).

10. Jurechko O.V. Fizicheskoe razvitie i fizicheskaja podgotovlennost v sisteme monitoringa sostojanija fizicheskogo zdorovja shkolnikov // Fundamentalnye issledovanija. 2012. no. 3–2. pp. 324–327; URL: www.rae.ru/fs/?section = content&op = show_article&article_id = 7982162 (Dostup: 22.06.2015).

Рецензенты:

Панков В.А., д.м.н., зав. лабораторией эколого-гигиенических исследований, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», г. Ангарск;

Соседова Л.М., д.м.н., профессор, зав. лабораторией биомоделирования и трансляционной медицины, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», г. Ангарск.

УДК 616.831-005.4

НОВЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МАРКЕР ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

[1]Ковалева Е.В., [2]Доронин Б.М., [1]Морозов В.В., [1]Серяпина Ю.В.

[1]Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, e-mail: seryapinajv@gmail.com;

[2]ГБОУ ВПО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск

Цель исследования – выявление молекулярно-генетических предикторов повышенного риска возникновения ишемического инсульта. Материалы и методы. В исследование включены пациенты с ишемическим инсультом, подтвержденным клинически и по данным МРТ (1100 человек), контрольную группу составили 500 человек без сердечно-сосудистых заболеваний. Выделение ДНК для молекулярно-генетического тестирования из цельной венозной крови проводилось методом фенол-хлороформной экстракции. Определение аллельных вариантов исследуемых генов проводилось методом аллель-специфичной ПЦР в RealTime-формате, а также методом ПЦР/ПДРФ диагностики. Результаты. Показано, что носительство аллеля Т полиморфного локуса C1772T гена HIF1a статистически значимо увеличивает риск развития ОНМК по ишемическому типу, OR = 1,603 (p = 0,01058), как в гомозиготном, так и в гетерозиготном варианте генотипа. Заключение. Данные позволяют рассматривать полиморфизм HIF1a как новый молекулярно-генетический предиктор развития ишемического инсульта.

Ключевые слова: ишемический инсульт, диагностика, фактор риска, HIF1a

NEW DIAGNOSTIC MARKER OF ISCHEMIC STROKE

[1]Kovaleva E.V., [2]Doronin B.M., [1]Morozov V.V., [1]Seryapina Y.V.

[1]Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk, e-mail: seryapinajv@gmail.com;

[2]Medical University Novosibirsk State Medical University of Ministry of Health of Russia, Novosibirsk

The purpose – identification of molecular genetic predictors of increased risk of ischemic stroke. Materials and methods. The study included patients with ischemic stroke, confirmed clinically and by MRI (1100), the control group consisted of 500 patients without cardiovascular disease. Extraction of DNA for molecular genetic testing of whole venous blood by phenol-chloroform extraction. Determination of allelic variants of the studied genes was performed by allele-specific PCR RealTime-format, as well as by PCR / RFLP diagnosis. Results. It has been shown that carriage of allele T polymorphic locus C1772T HIF1a gene significantly increases the risk of ischemic stroke, OR = 1,603 (p = 0,01058), both homozygous and heterozygous genotypes variant. Conclusion. The data allow us to consider polymorphism HIF1a as a new molecular genetic predictor of ischemic stroke.

Keywords: ischemic stroke, diagnosis, risk factors, HIF1a

В последние годы показано, что в развитии факторов риска и возникновении сопутствующих им осложнений большую роль играют нарушение равновесия анти- и прооксидантных систем и развитие окислительного стресса [3]. Ряд сигнальных систем, в том числе связанных с фосфорилированием белков и их конформацией, с функционированием ионных каналов сосудистой стенки, находятся под сочетанным контролем ферментов перекисного окисления. Эти системы влияют на активность ряда генов – в частности генов, регулирующих синтез белков адгезии и синтазу оксида азота эндотелиальной стенки, генов, принимающих участие в воспалительном процессе и активации определенных клеточных рецепторов. Исследования, посвященные выявлению маркеров окислительного стресса при ишемическом инсульте, свидетельствуют о прямой связи наличия окисленных метаболитов в крови с ухудшением прогноза при различных подтипах ИИ, а также о высокой диагностической значимости таких маркеров [4].

Предрасположенность к сосудистой патологии передается по наследству, хотя зависимость эта непрямая и обусловлена предрасположенностью родственников разных поколений к состояниям, повышающим риск инсульта. Степень риска развития инсульта зависит от количества имеющихся факторов: сочетание 2–3 из них резко увеличивает опасность острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) [2]. В последние годы выявлен ряд генетических маркеров повышенного риска возникновения ишемического инсульта (ИИ), однако фактически они ассоциированы с заболеваниями, течение которых осложняет инсульт, и их подтипами. Однако определить патофизиологический подтип ИИ

не всегда представляется возможным, кроме того, универсальные диагностические маркеры значительно увеличивают профилактическую ценность и позволяют проводить диагностику в группах с различной степенью риска. Таким образом, исходя из патофизиологических представлений об окислительном стрессе во время сосудистой катастрофы, актуально исследование генетических маркеров – полиморфных вариантов генов системы окислительного стресса – в качестве предикторов развития ишемического инсульта, а также разработка технологии рутинной диагностики, пригодной для внедрения в широкую медицинскую практику.

Наиболее интересным представляется изучение генетических маркеров патологического окислительного стресса в качестве предикторов сосудистых заболеваний и ишемического инсульта. В зарубежной литературе есть указания на ассоциации развития ИИ и более тяжелого его течения с носительством полиморфных вариантов генов глютатион-пероксидазы GPX C599T [10], гипоксия-индуцированного фактора HIF1a C1772T [9], НАДФ-Н оксидазы p22phox C242T [7], марганцевой супероксиддисмутазы MnSOD C47T [8]. Важно отметить, что носительство данных полиморфных вариантов является фактором риска не только непосредственно ишемических инсультов, но и других заболеваний сердечно-сосудистой системы, ведущих к возникновению ОНМК [7].

Внедрение молекулярно-генетических технологий диагностики ишемических инсультов в рутинную практику позволит осуществлять персонализированную диагностику, лечение и профилактику ОНМК в группах риска, увеличивать эффективность предиктивных мер в борьбе с ишемическими инсультами [1].

Цель исследования – выявление молекулярно-генетических предикторов повышенного риска возникновения ишемического инсульта.

Материалы и методы исследования

Сформированы 2 группы исследования: контрольную составили 500 пациентов без острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК) в анамнезе, не имеющих нарушений артериального кровообращения, тромбофилии. Основную группу исследования составили 1100 пациентов с ишемическим инсультом различной давности. Каждый участник был индивидуально опрошен и осмотрен исследователем с последующим заполнением соответствующей исследовательской анкеты, всем участникам с клиническими признаками ОНМК проведена магнитно-резонансная томография головы и шеи, являющаяся «золотым стандартом» диагностики ишемических инсультов. После верификации диагноза проводили забор крови для молекулярно-генетического исследования.

Выделение ДНК для молекулярно-генетического тестирования из цельной венозной крови проводилось методом фенол-хлороформной экстракции [5]. Определение аллельных вариантов исследуемых генов проводилось методом генотипирования однонуклеотидных замен в режиме реального времени с использованием конкурирующих TaqMan-зондов, комплементарных полиморфным участкам ДНК, а также с использованием ПЦР/ПДРФ диагностики.

Частоты встречаемости аллелей и генотипов определяли прямым подсчетом. Оценка отклонения распределений генотипов изученных полиморфизмов ДНК от канонического распределения Харди – Вайнберга и анализ ассоциативных связей внутри генотипических сочетаний, а также оценку степени различий в частоте встречаемости аллелей, генотипов и межгенных комбинаций между исследуемыми группами проводили с помощью точного критерия Фишера. Расчет показателя отношения шансов (OR – oddsratio) с 95% доверительным интервалом (CI – confidenceinterval) и p-значения проводился с помощью онлайн-калькулятора, доступного в сети Интернет [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Для всех исследованных полиморфных вариантов распределение частот встречаемости генотипов соответствует равновесию Харди – Вайнберга в контрольной и в основной группах. Статистически значимых различий в частотах встречаемости аллелей и генотипов полиморфных локусов GPX C599T, p22phox C242T и MnSOD C47T в исследуемых группах не обнаружено. Показано, что носительство аллеля T полиморфного локуса C1772T гена HIF1a статистически значимо увеличивает риск развития ОНМК по ишемическому типу с OR = 1,603 (p = 0,01058). Для гетерозиготных носителей аллеля T риск развития ишемического инсульта выше в 2,0 раза (p = 0,00330), а для гомозигот TT – в 1,9 (p = 0,00474) раза по сравнению с обладателями дикого генотипа CC.

Заключение

Результаты пилотного исследования позволяют сделать вывод о достоверном повышении риска возникновения ИИ у носителей полиморфного аллеля T гена HIF1a C1772T. Наличие в генотипе редкого аллельного варианта HIF1a предполагает высокий риск развития ишемического инсульта, особенно при участии модифицирующих факторов риска, поэтому очевидно, что для этой категории пациентов необходимо проведение полноценных профилактических мероприятий. Кроме того, крайне важно выявление носителей молекулярно-генетических предикторов среди родственников пациента, формирование групп риска

и дальнейшее наблюдение, семейное консультирование.

Важно отметить, что исследование проведено в группе пациентов с ишемическим инсультом без разделения на патофизиологические подтипы, и выявленная степень риска у носителей полиморфизма HIF1a является интегральной, вне зависимости от наличия иных факторов. Проведение молекулярно-генетического исследования у всех категорий пациентов с ОНМК позволяет выбрать наиболее оптимальный вид лечения, подобрать комплекс персонализированных профилактических мероприятий. Внедрение диагностики с учетом генетических – конституциональных – факторов риска востребовано в рутинной практике специалистов – неврологов, терапевтов, эндокринологов, кардиологов.

Список литературы

1. Белеванцева А.В., Лифшиц Г.И., Суховеева О.А. Предиктивная медицина социально значимых заболеваний: организационные, юридические, экономические и морально-этические аспекты // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 6–12.

2. Белкин А.А., Волкова Л.И. Современные аспекты эпидемиологии, патофизиологии, этиологии и классификации инсульта // Медицинская наука и практика. – 2005. – № 1. – С. 2–10.

3. Кравцова Е.Ю., Соснин Д.Ю., Мартынова Г.А. Окислительная модификация белков как биохимический маркер прогноза ишемического инсульта // Медицинский альманах. – 2012. – № 21 (2). – С. 95–97.

4. Мартынов М.Ю., Ясаманова А.Н., Колесникова Т.И., Щукин И.А., Чубыкин В.И., Глухарева А.П., Авдеев С.А. Окислительный стресс у больных с мозговым инсультом // ConsiliumMedicum Неврология. – 2010. – № 2.

5. Bendeck M.P. Targeting Pericellular Proteolysis in Vascular Disease // Circ. Res. – 2002. – Vol. 91. – P. 861–862.

6. Case-control studies. Tests for deviation from Hardy-Weinberg equilibrium and tests for association [Electronic resourse]. URL: http://ihg.gsf.de/cgi-bin/hw/hwa1.pl (accessed: 22.11.2014).

7. Feairheller D.L., Brown M.D., Park J.-Y., Brinkley T.E., Basu S., Hagberg J.M., Ferrell R.E., Fenty-Stewart N.M. Exercise Training, NADPH Oxidase p22phox Gene Polymorphisms, and Hypertension // Med Sci Sports Exerc. – 2009. – № 41 (7). – P. 1421–1428.

8. Fujimoto H., Kobayashi H., Ogasawara K., Yamakado M., Ohno M. Association of the manganese superoxide dismutase polymorphism with vasospastic angina pectoris // J Cardiol. – 2010. – № 55 (2). – P. 205–210.

9. Singh N., Sharma G., Mishra V. Hypoxia inducible factor-1: its potential role in cerebral ischemia // Cell MolNeurobiol. – 2012. – № 32(4). – P. 491–507.

10. Voetsch B., Jin R.C., Bierl C., Benke K.S., Kenet G., Simioni P., Ottaviano F., Damasceno B.P., Annichino-Bizacchi J.M., Handy D.E., Loscalzo J. Promoter Polymorphisms in the Plasma Glutathione Peroxidase (GPx-3) Gene: A Novel Risk Factor for Arterial Ischemic Stroke among Young Adults and Children. Stroke. 2007; 38 (1): 41–49.

References

1. Belevanceva A.V., Lifshic G.I., Suhoveeva O.A. Prediktivnaja medicina socialno znachimyh zabolevanij: organizacionnye, juridicheskie, jekonomicheskie i moralno-jeticheskie aspekty // Vestnik NGU. Serija: Biologija, klinicheskaja medicina. 2008. T. 6, no. 2. pp. 6–12.

2. Belkin A.A., Volkova L.I. Sovremennye aspekty jepidemiologii, patofiziologii, jetiologii i klassifikacii insulta // Medicinskaja nauka i praktika. 2005. no. 1. pp. 2–10.

3. Kravcova E.Ju., Sosnin D.Ju., Martynova G.A. Okislitelnaja modifikacija belkov kak biohimicheskij marker prognoza ishemicheskogo insulta. Medicinskij almanah. 2012; 21 (2): 95–97.

4. Martynov M.Ju., Jasamanova A.N., Kolesnikova T.I., Shhukin I.A., Chubykin V.I., Gluhareva A.P., Avdeev S.A. Okislitelnyj stress u bolnyh s mozgovym insultom. ConsiliumMedicum Nevrologija. 2010; 2.

5. Bendeck M.P. Targeting Pericellular Proteolysis in Vascular Disease // Circ. Res. 2002. Vol. 91. pp. 861–862.

6. Case-control studies. Tests for deviation from Hardy-Weinberg equilibrium and tests for association [Electronic resourse]. URL: http://ihg.gsf.de/cgi-bin/hw/hwa1.pl (accessed: 22.11.2014).

7. Feairheller D.L., Brown M.D., Park J.-Y., Brinkley T.E., Basu S., Hagberg J.M., Ferrell R.E., Fenty-Stewart N.M. Exercise Training, NADPH Oxidase p22phox Gene Polymorphisms, and Hypertension. Med Sci Sports Exerc.2009; 41 (7): 1421–1428.

8. Fujimoto H., Kobayashi H., Ogasawara K., Yamakado M., Ohno M. Association of the manganese superoxide dismutase polymorphism with vasospastic angina pectoris. J Cardiol. 2010; 55 (2): 205–210.

9. Singh N., Sharma G., Mishra V. Hypoxia inducible factor-1: its potential role in cerebral ischemia. Cell MolNeurobiol. 2012;32(4): 491–507.

10. Voetsch B., Jin R.C., Bierl C., Benke K.S., Kenet G., Simioni P., Ottaviano F., Damasceno B.P., Annichino-Bizacchi J.M., Handy D.E., Loscalzo J. Promoter Polymorphisms in the Plasma Glutathione Peroxidase (GPx-3) Gene: A Novel Risk Factor for Arterial Ischemic Stroke among Young Adults and Children. Stroke. 2007; 38 (1): 41–49.

Рецензенты:

Смагин А.А., д.м.н., профессор, руководитель лаборатории лимфодетоксикации, УРАН «Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии» Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск;

Шевела А.И., д.м.н., профессор, научный руководитель, АНО «Центр новых медицинских технологий в Академгородке», г. Новосибирск.

УДК 579.841.11.017.617

ВЛИЯНИЕ ПРОДУЦИРУЮЩИХ ИНДОЛ-3-УКСУСНУЮ КИСЛОТУ БАКТЕРИЙ AZOTOBACTER CHROOCOCCUM 66 И PSEUDOMONAS PUTIDA NBR9 НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ (TRITICUM AESTIVUM L.)

[1]Мацкова Ю.А., [2]Олюнина Л.Н., [2]Сухов В.С., [2]Неруш В.Н., [2]Синицына Ю.В., [2]Веселов А.П.

[1]ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, e-mail: yuliya.matskova@yandex.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, e-mail: kfr@bio.unn.ru

Проведено электрофизиологическое исследование влияния симбиотических ризосферных бактерий, экскретирующих либо утилизирующих индол-3-уксусную кислоту (ИУК), на устойчивость растений-хозяев к прогреванию. Показано, что колонизация корней бактериями *Azotobacter chroococcum* 66 (штамм-гиперпродуцент ИУК) повышала термоустойчивость проростков пшеницы. Защитный эффект *Pseudomonas putida* NBr9 (штамм, утилизирующий ИУК) оказался более выраженным, чем эффект азотобактера. Это проявлялось более значительным влиянием *P. putida* NBr9 на амплитуду первичной деполяризации плазматической мембраны клеток побега проростков после нагревания и достоверным увеличением скорости первичной деполяризации, а также преобладанием в группе доли устойчивых растений. Выявленный эффект, возможно, обусловлен разнонаправленным влиянием азотобактера и псевдомонад на гормональный баланс растений-хозяев.

Ключевые слова: термоустойчивость, инокуляция, пшеница, ризосферные бактерии

THE INFLUENCE OF INDOLE-3-ACETIC ACID PRODUCING BACTERIA AZOTOBACTER CHROOCOCCUM 66 AND PSEUDOMONAS PUTIDA NBR9 ON THERMOTOLERANCE OF WHEAT SEEDLING (TRITICUM AESTIVUM L.)

[1]Matskova Y.A., [2]Olyunina L.N., [2]Sukhov V.S., [2]Nerush V.N., [2]Sinitsyna Y.V., [2]Veselov A.P.

[1]State Educational Establishment of Higher Professional Training Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of Public Health of the Russian Federation, Nizhni Novgorod, e-mail: yuliya.matskova@yandex.ru;
[2]Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, e-mail: kfr@bio.unn.ru

Rizospheric bacteria can participate both in root system growth and whole plant development due to concentration of indol-3-acetic acid (IAA) changing ability. Involvement of two kinds of bacteria – excreting and /or consuming IAA – in plant stresses resistance formation by modifying their hormonal balance is assumed. The resistance of inoculated and non-inoculated wheat seedlings (Triticum aestivum L. «Moscow-35») to heat shock was investigated with the electrophysiological method. Non-inoculated seedlings served as control. Thermostability testing (heating at 42°C, 15 min) of 7-day-old wheat seedlings was based on comparison of amplitude and pulsed bioelectric reactions velocity ratios before and after stress influence. It has been shown that Azotobacter chroococcum 66 (excrete IAA) or Pseudomonas putida NBr9 (excrete and consume IAA) root colonization increased the resistance of wheat seedlings to hyperthermia. Protective effect of Pseudomonas putida NBr9 was more expressed: the quantity of hyperthermia-resistant plants was 5 times bigger than in control variant.

Keywords: thermotolerance, inoculation, wheat, rhizosphaeric bacteria

Общепризнанно, что многие симбиотические бактерии, в частности представители родов *Azotobacter* и *Pseudomonas*, способны регулировать рост растений-хозяев посредством экскреции ряда биологически активных веществ, прежде всего индол-3-уксусной кислоты (ИУК), а также фиксации атмосферного азота [5, 9]. Создание высокоэффективных биопрепаратов с использованием живых культур ассоциативных микроорганизмов является одним из приоритетных на сегодняшний день направлений в рамках концепции экологизации сельского хозяйства. Однако следует помнить, что в естественных местообитаниях оптимальные условия существования, легко воспроизводимые в лаборатории, являются скорее исключением, чем правилом, как для микроорганизмов, так и для растений, не способных, подобно животным, уйти (в прямом смысле этого слова) от действия неблагоприятного фактора. Следовательно, эффективность биопрепаратов, разработанных без учета особенностей устойчивости

микроорганизмов, может оказаться невысокой. В связи с вышесказанным при разработке бактериальных удобрений направленного действия, на наш взгляд, целесообразно экспериментальное моделирование условий среды, являющихся стрессовыми и для бактерий, и для их растений-хозяев (например, действие высокой температуры).

В формировании мутуалистических взаимоотношений ризобактерий и растений наиболее важным соединением-посредником служит ИУК, к экскреции и/или утилизации которой способны многие ризосферные микроорганизмы [8, 9]. Вполне справедливо «бактериальную» ИУК рассматривать в качестве аллелохимиката, полезного и для организмов-продуцентов (бактерий) – алломона, и для организмов-реципиентов (растений-хозяев) – кайромона.

По мнению большинства исследователей, изменяя концентрацию ИУК в прикорневой зоне и соответственно в клетках корней, ризосферные микроорганизмы тем самым «вмешиваются» не только в развитие корневой системы, но и растения в целом [9]. В том числе можно предполагать участие бактерий, экскретирующих и/или потребляющих ИУК, в формировании устойчивости растений к меняющимся условиям внешней среды за счет модификации их гормонального баланса и, следовательно, исходного физиологического состояния. При этом нельзя исключить, что изменения устойчивости растений, спровоцированные присутствием бактерий, разнонаправленно влияющих на гормональный баланс своих хозяев, также могут оказаться неравнозначными.

Настоящая работа посвящена выявлению особенностей влияния на термоустойчивость проростков пшеницы штамма-гиперпродуцента ИУК – *Azotobacter chroococcum* 66 и микроорганизма, способного использовать ИУК в качестве универсального ростового субстрата – *Pseudomonas putida* NBr9.

Материал и методы исследования

Объектами исследований служили проростки яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта «Московская-35», а также бактерии *Azotobacter chroococcum* 66 (штамм из коллекции Музея микробиологии МГУ, Москва) и *Pseudomonas putida* NBr9 (штамм из коллекции Института физиологии и биохимии микроорганизмов РАН, Пущино). *A. chroococcum* 66 обладает высокой ИУК-экскретирующей активностью; *P. putida* – наряду с продуцированием способен использовать ИУК как источник углеродного и азотного питания [1].

Семена пшеницы обрабатывали 0,1 % раствором $KMnO_4$ и после промывания, экспонирования в стерильной водопроводной воде (4 ч) проводили инокуляцию бактериями *A. chroococcum* 66 либо *P. putida* NBr9 (опытный вариант). Контролем служили семена, которые оставались стерильными. Бактерии для инокуляции выращивали в течение 24 ч на соответствующих питательных средах: *A. chroococcum* 66 на твердой элективной среде Эшби; *P. putida* NBr9 на жидкой среде М-9. Концентрация микроорганизмов в инокуляте составляла 10^9 мл$^{-1}$.

Колонизированные бактериями и контрольные семена проращивали в стерильных влажных чашках Петри при 26 °С. На вторые сутки после оценки всхожести проростки переносили в сосуды, содержащие 25 мл стерильной водопроводной воды и покрытые крышками из фольги (15 проростков на сосуд). Проростки культивировали в климатокамерах при 26 °С и 14-часовом фотопериоде. На 3-и, 7-е сутки проводили контроль эффективности бактериальной колонизации поверхности корней и околокорневого раствора.

Тестирование термоустойчивости (прогрев при 42 °С, 15 мин) 7-суточных проростков пшеницы проводили по методике, разработанной сотрудниками кафедры биофизики ННГУ им. Н.И. Лобачевского для диагностики воздействия на растения химических веществ [4]. Метод основан на сравнении отношений амплитуд и скоростей импульсных биоэлектрических реакций.

Побеги контрольных и опытных проростков закрепляли в кюветах так, чтобы корни сохраняли контакт с околокорневым раствором. После фиксации растения выдерживали на свету в течение времени, существенно превышающего рефрактерный период. Первое тестирующее охлаждение (до гипертермического воздействия) осуществляли быстрым внесением в кювету ледяной воды, при этом измерительный электрод (ЭВЛ-1М3) контактировал с поверхностью охлаждаемого участка побега, а электрод сравнения – с околокорневым раствором. Прогрев зафиксированных в кюветах проростков осуществляли в термостате через 45 мин после первого тест-воздействия. Повторное тестирующее воздействие проводили через 30 мин после окончания действия стрессора (нагревание).

Результаты представлены в виде отношений: A_2/A_1, где A_1 – амплитуда первой деполяризации (до гипертермического воздействия), A_2 – амплитуда второй деполяризации (после прогрева); V_2/V_1, где V_1 – скорость первой деполяризации (до гипертермии), V_2 – скорость второй деполяризации (после нагрева). Если эти отношения больше 1,0 (или 100 %), то можно говорить о повышенной устойчивости объекта к действию стрессора, если же отношения менее 1,0 (или 100 %), то это свидетельствует об угнетении жизнедеятельности растения. Биологическая повторность опытов 15-кратная. Статистическую обработку результатов проводили с помощью стандартного программного пакета «STATISTICA 6.0».

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время есть вполне достаточные основания полагать, что роль электрогенеза в формировании адаптационного синдрома клеток высших растений при неблагоприятных воздействиях окружающей среды может быть весьма значительной [2]. Неслучайно, что биоэлектрическая активность используется как довольно удобный диагностический показатель функционального состояния растений [6, 4].

В наших исследованиях удалось показать, что тест-воздействие (охлаждение), наносимое на участок побега проростков экспериментальных вариантов (рис. 1) до гипертермического прогрева и через 30 мин после действия стрессора, вызывало различную по амплитуде и скорости первичную деполяризацию плазмалеммы (ПМ) клеток в зоне охлаждения. Амплитуда (A, мВ) и скорость (V, с) деполяризации ПМ клеток побега до стресс-воздействия (нагревания) у проростков пшеницы контрольной группы выше, чем у проростков, корни которых контаминированы бактериями *A. chroococcum* 66 или *P. Putida* NBr9. Возможно, данный эффект обусловлен снижением исходного уровня мембранного потенциала, а следовательно, энергизованности ПМ клеток растений при взаимодействии их с ризосферной микрофлорой. Высказанное предположение выглядит небезосновательным на фоне данных T. Ersek et al. [7], Y. Bashan, H. Levanony [7], убедительно свидетельствующих о влиянии ризобактерий на мембранный потенциал клеток корней растений-хозяев.

Данные, полученные при сравнении амплитуд и скоростей первичной деполяризации ПМ клеток побега в зоне тест-воздействия до (A_1, V_1) и после нагревания (A_2, V_2) у инокулированных и неинокулированных растений, свидетельствуют об инициированном бактериями повышении устойчивости проростков пшеницы. Так, отношение A_2/A_1 достоверно превышало 1,0 у проростков, зараженных *A. chroococcum* 66 или *P. putida* NBr9, особенно в варианте с псевдомонадами (рис. 2). У растений, контактирующих с *P. putida* NBr9, также достоверно возрастало отношение V_2/V_1.

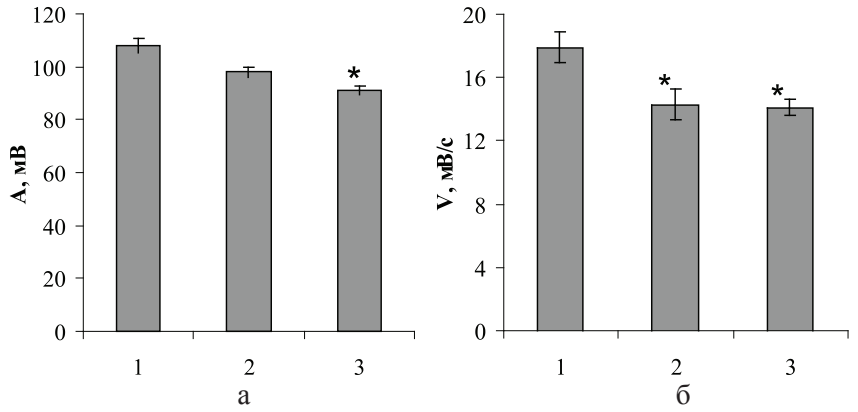


Рис. 1. Амплитуда (а) и скорость (б) деполяризации проростков пшеницы до нагревания:
** – различия статистически достоверны по сравнению с контролем (P < 0,05);*
1 – без инокуляции; 2 – инокуляция A. chroococcum 66; 3 – P. putida NBr9

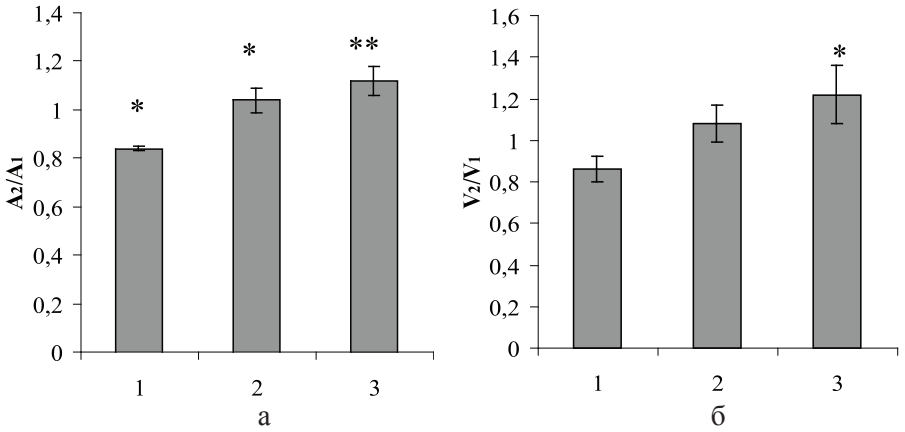


Рис. 2. Отношение амплитуды (а) и скорости (б) деполяризации проростков пшеницы после нагрева (A_2, V_2) к исходным значениям (A_1, V_1); различия статистически достоверно отличались от 1,0:
** – P < 0,05; ** – P < 0,01;*
1 – без инокуляции; 2 – инокуляция A. chroococcum 66; 3 – P. putida NBr9

Таким образом, как показали результаты электрофизиологических исследований, инокуляция *A. chroococcum* 66 и *P. putida* NBr9 увеличила термоустойчивость проростков пшеницы. Неинокулированные проростки проявляли пониженную устойчивость к нагреванию – A_2/A_1 было менее 1,0, а отношение V_2/V_1 имело тенденцию к снижению.

Однако в каждом экспериментальном варианте можно было выделить растения, у которых отношения A_2/A_1 и V_2/V_1 превышали 1,0 и были менее 1,0, т.е. растения с повышенной устойчивостью к нагреванию при 42 °C (15 мин) и не устойчивые к этой дозе воздействия соответственно. Тем не менее, вычислив долю растений, у которых оба отношения превышали 1,0 (N), можно говорить о том, что среди инокулированных проростков доминировали высокоустойчивые индивиды, тогда как доля устойчивых растений в контрольной группе довольно мала (рис. 3). Кроме того, количество устойчивых растений несколько преобладало в варианте с *P. putida* NBr9 по сравнению с группой проростков, инокулированных *A. chroococcum* 66.

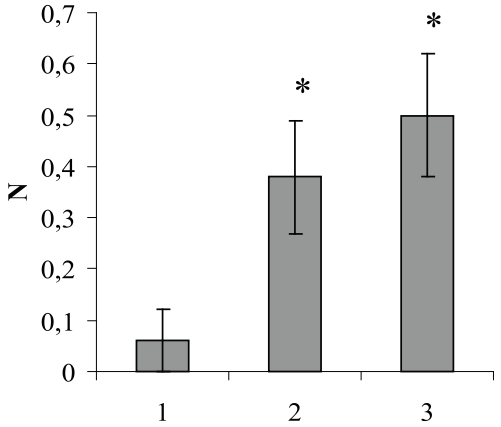


*Рис. 3. Доля проростков пшеницы, у которых A_2/A_1 и V_2/V_1 превышали 1,0; * – различия статистически достоверны по сравнению с контролем (P < 0,05); 1 – без инокуляции; 2 – инокуляция A. chroococcum 66; 3 – P. putida NBr9*

Заключение

Полученные данные позволяют говорить о повышении устойчивости проростков пшеницы к нагреванию при сосуществовании с бактериями *A. chroococcum* 66 и *P. putida* NBr9. Защитный эффект *P. putida* NBr9 при данных условиях эксперимента оказался более выраженным, чем эффект *A. chroococcum* 66. Это проявлялось более значительным влиянием *P. putida* NBr9 на амплитуду первичной деполяризации плазматической мембраны клеток побега проростков после нагревания, достоверным увеличением скорости этой первичной биоэлектрической реакции, а также преобладанием в группе доли устойчивых растений. Одна из вероятных причин неодинаковой устойчивости проростков пшеницы в присутствии *P. putida* NBr9 или *A. chroococcum* 66 может заключаться в разнонаправленном влиянии исследованных микроорганизмов на гормональный баланс растений-хозяев. Это предположение открывает перспективы для дальнейшего углубленного исследования механизмов вмешательства бактерий в работу гормональной сигнальной системы эукариотических организмов.

Исследования термоустойчивости проростков пшеницы поддержаны проектом № 2575 Задания № 2014/134 на выполнение государственных работ в сфере деятельности в рамках базовой части государственного задания.

Список литературы

1. Олюнина Л.Н., Орлова А.Г., Мацкова Ю.А. Участие индол-3-уксусной кислоты в реакции про- и эукариот на тепловой шок // Сигнальные системы клеток растений, роль в адаптации и иммунитете: тезисы докл. Второго международн. симп. – Казань, 2006. – С. 99–100.

2. Пятыгин С.С. Особенности сигнальной роли потенциала действия у высших растений // Успехи современ. биол. – 2007. – Т. 127, № 3. – С. 293–298.

3. Ретивин В.Г., Опритов В.А., Федулина С.Б. Преадаптация тканей стебля *Cucurbita pepo* к повреждающему действию низких температур, индуцированная потенциалом действия // Физиол. раст. – 1997. – Т. 44, № 3. – С. 499–510.

4. Ретивин В.Г., Пятыгин С.С., Швец И.М., Опритов В.А., Макин Г.И., Ганичева С.В., Нестеров Г.Н. Способ диагностики воздействия на растения химических веществ // Авт. свид. 1563631 СССР. 1990. Бюл. № 18.

5. Цавкелова Е.А. Микроорганизмы-продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение / Е.А. Цавкелова, С.Ю. Климова, Т.А. Чердынцева, А.И. Нетрусов // Прикл. биохим. и микробиол. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 133–143.

6. Érsek T., Novacky A., Pueppke S.G. Compatible and incompatible rhizobia alter membrane potentials of soybean root cells / T. Érsek, A. Novacky, S.G. Pueppke // Plant Physiol. – 1986. – Vol. 82, № 4. – P. 1115–1118.

7. Bashan Y., Levanony H. Alterations in membrane potential and in proton efflux in plant roots induced by *Azospirillum brasilense* / Y. Bashan, H. Levanony // Plant and soil. – 1991. – V. 137, № 1. – P. 99–103.

8. Leveau J.H.J., Lindow S.E. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290 / J.H.J. Leveau, S.E. Lindow // Appl. Environ. Microbiol. – 2005. – Vol. 71, № 5. – P. 2365–2371.

9. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling / S. Spaepen, J. Vanderleyden, R. Remans // FEMS Microbiol. Rev. – 2007. – Vol. 31, № 4. – P. 425–448.

References

1. Olyunina L.N., Orlova A.G., Matskova Yu.A. *Signalnye systemy kletok rasteniy, rol v adaptatsii i immunitete: tezisy dokladov 2 Mezhdunarodnogo Simpoziuma* (2nd Int. Symp. Plant cell Signalling) – Kazan, 2006, pp. 99–100.

2. Pyatygin S.S. *Uspekhi sovrem. biol.*, 2007, no. 3, pp. 293–298.

3. Retivin V.G., Opritov V.A., Fedulina S.B. *Phisiol. rast.*, 1997, no 3, pp. 499–510.

4. Retivin V.G, Pyatygin S.S., Shvets I.M., Opritov V.A., Makin G.I., Ganicheva S.V., Nesterov G.N. Avt. svid. 1563631 SSSR. 1990. Byul. no 18.

5. Zavkelova E.A., Klimova S.Yu., Cherdyntseva T.A., Netrusov A.I. *Pricl. biochim. i microbiol.*, 2006. Vol. 42, no 2, pp. 133–143.

6. Érsek T., Novacky A., Pueppke S.G. Compatible and incompatible rhizobia alter membrane potentials of soybean root cells / T. Érsek, A. Novacky, S.G. Pueppke // Plant Physiol. 1986. Vol. 82, no. 4. pp. 1115–1118.

7. Bashan Y., Levanony H. Alterations in membrane potential and in proton efflux in plant roots induced by *Azospirillum brasilense* / Y. Bashan, H. Levanony // Plant and soil. 1991. Vol. 137, no. 1. pp. 99–103.

8. Leveau J.H.J., Lindow S.E. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290 / J.H.J. Leveau, S.E. Lindow // Appl. Environ. Microbiol. 2005. Vol. 71, no. 5. pp. 2365–2371.

9. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling / S. Spaepen, J. Vanderleyden, R. Remans // FEMS Microbiol. Rev. 2007. Vol. 31, no. 4. pp. 425–448.

Рецензенты:

Постнов И.Е., д.б.н., профессор кафедры «Водные ресурсы и аквакультура», ФГБОУ ВПО «Нижегородская государственная академия», г. Нижний Новгород;

Смирнов В.Ф., д.б.н., профессор, руководитель лаборатории НИИ Химии, ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород.

УДК 57.084

КОМПЛЕКСНАЯ БАЛЛОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПРОЛИФЕРАЦИЮ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ ALLIUM CEPA L.

[1]Петров С.А., [2]Еноктаева О.В., [1]Субботин А.М., [1]Мальчевский В.А.

[1]Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, e-mail: tumiki@yandex.ru, subbotin.prion@yandex.ru, malchevski@mail.ru;

[2]Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, e-mail: pechkanova@mail.ru

Предложена комплексная балльная система оценки воздействия психротолерантных мезофильных микроорганизмов на пролиферацию клеток у высших организмов. В ходе эксперимента выяснено, что бактерии рода *Bacillus* способны изменять митотическую активность корневой меристематической ткани *Allium cepa* L. *и* индуцировать такие аномалии ядерного аппарата клетки, как фрагменты, мосты, отставания и забегания хромосом. Выявлена эффективность применения данной комплексной балловой системы оценки. Доказано, что она дает возможность определять общий вектор направленности изменений, происходящих в корневой системе *Allium cepa* L.: одновременно регистрировать изменения морфометрических показателей на организменном уровне и изменения на клеточном уровне в меристематической ткани. Применение комплексной системы позволяет выявлять штаммы психротолерантных мезофильных микроорганизмов, обладающих цитотоксическими, генотоксическими или митозстимуляционным эффектами воздействия.

Ключевые слова: микроорганизмы, цитотоксичность, генотоксичность, митозстимуляция

COMPREHENSIVE SCORING SYSTEM FOR ASSESSING THE IMPACT OF MICROBIAL CELL PROLIFERATION ROOT MERISTEM ALLIUM CEPA L.

[1]Petrov S.A., [2]Enoktaeva O.V., [1]Subbotin A.M., [1]Malchevskiy V.A.

[1]Tyumen Science Center SB RAS, Tyumen, e-mail: tumiki@yandex.ru, subbotin.prion@yandex.ru, malchevski@mail.ru;

[2]Earth Cryosphere Institute SB RAS, Tyumen, e-mail: pechkanova@mail.ru

A complex scoring system for assessing the impact of psychrotolerant mesophilic microorganisms on the proliferation of cells in organisms. The experiment revealed that bacteria of the genus *Bacillus* alter the mitotic activity of the root meristem of *Allium cepa L.* and induce abnormalities of the cell nucleus. It is proved that the system helps to identify changes in the root system of *Allium cepa L* .: simultaneously recording changes in morphometric parameters at the organismal level and changes at the cellular level in the meristem. Application of complex systems can identify strains of psychrotolerant mesophilic microorganisms have cytotoxic, genotoxic effects of exposure or to stimulate cell division.

Keywords: microorganism, cytotoxicity, genotoxicity, stimulation of mitosis

Ряд исследователей [1, 5] считают актуальным изучение воздействия психротолерантных мезофильных микроорганизмов на высшие организмы, так как были выявлены штаммы, оказывающие как положительное, так и отрицательное влияние на физиологические процессы у лабораторных животных.

Изменения на клеточном уровне, происходящие у высших организмов под воздействием изучаемых факторов, приводят к фенотипическим изменениям на организменном уровне. Для более объективной оценки воздействия микроорганизмов на макроорганизмы необходимо выявление общего вектора направленности течения митозстимуляционного эффекта воздействия. В доступных нам специальных литературных источниках мы не обнаружили системы оценки общего вектора направленности течения пролиферативных процессов, учитывающего митозстимуляционный эффект. В связи с вышеизложенным актуальность разработки комплексной балльной системы оценки процессов пролиферации, приводящей к цитоморфометрическим изменениям у высших организмов, не подлежит сомнению.

Цель исследования – выявить эффективность применения комплексной балльной системы оценки воздействия психротолерантных мезофильных микроорганизмов рода *Bacillus* на течение пролиферативных процессов в корневой системе *Allium cepa L.*

Материалы и методы исследования

Для гуманного обращения с животными согласно рекомендациям Каркищенко (2010) было решено использовать растительную тест-систему *Allium*-тест, которая позволяет оценить цито- и генотоксическое воздействие факторов различной природы на пролиферацию клеток корневой меристемы [8, 9].

Моделью исследования послужил вид лук репчатый (*Allium cepa* L.), сорт российской селекции ВНИИССОК «Черный принц». Для проращивания использовали растения массой 10–20 г без зеленых листьев. От луковиц аккуратно скальпелем отрезали часть донца с омертвевшими клетками и отделяли сухие пленчатые наружные чешуи. Растительный материал выращивали без доступа солнечного света при температуре 20 ± 2 °С в центрифужных пробирках, заполненных 50 мл дистиллированной воды.

Через 48 ч проращивания для дальнейшего проведения эксперимента были отобраны луковицы, у которых средняя длина 10 крупных корней на одном растении составляла 18 ± 3 мм. В качестве критерия деления растений на экспериментальные группы была выбрана среда для проращивания: в первой экспериментальной группе (контроль) средой для проращивания послужил смыв дистиллированной воды с мясопептонного агара, во второй экспериментальной группе – суспензия бактериальных клеток концентрацией $1 \cdot 10^6$ м.кл./мл дистиллированной воды; в третьей экспериментальной группе – суспензия бактериальных клеток концентрацией $1 \cdot 10^9$ м.кл./мл дистиллированной воды; в четвертой экспериментальной группе – суспензия бактериальных клеток концентрацией $1 \cdot 10^{12}$ м.кл./мл дистиллированной воды.

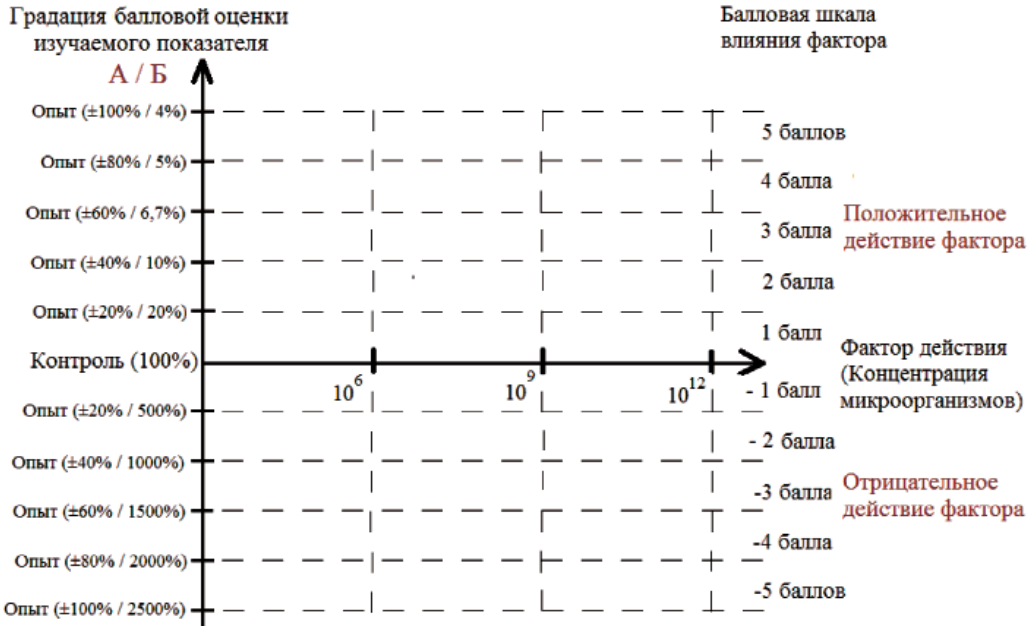
Бактерии рода *Bacillus* штамм 2/09, идентифицированный по 16S RNA, высевали в 5 пробирок на мясопептонный агар (ТУ 9385-001-64786015-2012, г. Углич) и культивировали при температуре +36 °С в термостате в течение 24 ч. Затем производили смыв микроорганизмов из каждой пробирки 5 мл дистиллированной воды. Концентрацию микроорганизмов определяли культуральным методом предельных разведений по количеству колониеобразующих единиц (КОЕ) на агаризованной питательной среде в чашках Петри. После определения количества клеток бактерий в исходной суспензии плотность культур доводили до рабочей концентрации.

Выборка в каждой экспериментальной группе составила 10 луковиц. После 96 ч пребывания в среде для проращивания для каждого растения определяли среднюю длину 10 крупных корней, которые впоследствии помещали в фиксатор Кларка на 24 ч при температуре 5 °С. Для длительного хранения материал промывали в 96 % растворе этилового спирта и переносили его в 70 % раствор этилового спирта.

Из полученного материала готовили давленые цитологические препараты, которые были окрашены 2 % ацетоарсеином. Анализ препаратов и фотографии клеток корневой меристемы выполняли на микроскопе AxioImager A1 («Zeiss»), используя лицензионное программное обеспечение AxioVision 4.7.1 и видеокамеру AxioCam MRc5 («Zeiss»).

В каждой экспериментальной группе проанализировали 10 000 клеток на всех стадиях жизненного цикла. Для цитологического анализа выбирали цельные клетки округло-квадратной формы с хорошо прокрашенным хроматином. Рассчитывали митотический индекс и регистрировали следующие типы хромосомных аберраций: микроядра, мосты, фрагменты, отставания и забегания хромосом. Клетки с неопределенным типом аберраций регистрировали как клетки с патологиями ядерного аппарата. Митотический индекс и частоту встречаемости аберрантных клеток определяли по формулам, приведенным в работе B.A. Iwalokun, 2011.

Полученные данные в контрольном варианте принимали за 100 %. Длину корней, митотический индекс и количество клеток с патологиями ядерного аппарата в опытных вариантах так же выражали в процентах относительно контроля и экстраполировали в баллы, используя разработанную нами шкалу (рисунок).



Шкала комплексной балловой системы оценки результатов цито-, генотоксического и митозстимуляционного эффектов воздействия микроорганизмов на высшие организмы с учетом морфометрических и цитологических изменений в корневой системе Allium cepa L:
А – показатели: длина корней и митотический индекс;
Б – показатель: количество клеток с патологиями ядерного аппарата

Статистическую обработку полученных данных проводили при помощи программы BioStat.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования было выявлено, что психротолерантный мезофильный штамм бактерий рода *Bacillus* достоверно не оказывает ингибирующего воздействия на морфометрический показатель – рост корневой системы *Allium cepa* L. (таблица). При этом следует отметить, что данный штамм может проявлять цитотоксические свойства, так как во второй экспериментальной группе митотический индекс по сравнению с контролем снизился на 12,1 %, а в четвертой экспериментальной группе – увеличился на 15,5 %. Снижение митотической активности, на наш взгляд, объясняется негативным влиянием бактерий на хромосомный аппарат клеток, а стимуляция пролиферативных процессов – работой компенсационных механизмов, уменьшающих потерю клеток, вызванную нарушениями митоза, что совпадает с результатами В.Н. Калаева (2008) и С.И. Цитленок (2002). Статистически достоверных ($p < 0,05$) различий в выраженности митозстимуляционного эффекта воздействия изучаемого штамма между значениями в экспериментальных и контрольной группах не было выявлено.

Анализируя данные, приведенные в таблице, можно утверждать, что психрофильный штамм бактерий рода *Bacillus* является генотоксикантом. Об отклонениях нормального течения митоза в опытных экспериментальных группах позволяет говорить увеличение количества клеток с индуцированными геномными мутациями. Во всех экспериментальных группах таких патологий. как фрагменты хромосом, мосты (на стадиях анафазы и телофазы) и микроядра (на стадии интерфазы), обнаружено не было, хромосомные аберрации были представлены отставаниями и забеганиями хромосом при их расхождении к полюсам в период анафазы. Исключением является четвертая экспериментальная группа, где были обнаружены фрагменты и мосты. Отставание и забегание хромосом связано с нарушением поведения последних на веретене деления; мосты являются следствием разрывов хромосом и объединения фрагментов, имеющих центромеры, в результате чего возникают дицентрики. Нами выявлено, что возникновение ди- и полицентрических хромосом задерживает наступление цитотомии, что коррелирует с полученными данными других авторов [4].

Выявленные в ходе эксперимента хромосомные аберрации, на наш взгляд, являются проявлением дестабилизации кариотипа и активации соматического мутагенеза. Хромосомные аберрации возникают в результате повреждений ДНК, которые приводят к разрыву двойной спирали. В дальнейшем, по литературным данные [7], эти повреждения могут или репарироваться, или фиксироваться, при этом либо обновляется оригинальная последовательность оснований, либо возникают генные мутации, хромосомные аберрации. Факторы, обладающие мутагенными свойствами, у всех эукариот в одинаковой степени индуцируют хромосомные аберрации, поэтому применение растительных тест-систем является экономичным подходом для изучения воздействия психротолерантных мезофильных микроорганизмов на высшие организмы.

Комплексная балльная система оценки влияния бактерий рода *Bacillus* на пролиферацию клеток корневой меристемы *Allium cepa* L. (в баллах)

Экспериментальная группа	Прирост корней за 96 ч (в мм)	Баллы	Митотический индекс, %	Баллы	Количество клеток с патологиями ядерного аппарата, %	Баллы	Итоговая сумма баллов
Первая (контрольная)	3,5 ± 0,32 (100 %)	0	5,8 ± 2,2	0	0,14 ± 0,03 (100 %)	0	0
Вторая	3,3 ± 0,49 (94,3 %)	–0,3	5,1 ± 1,2* (87,9 %)	–0,6*	0,62 ± 0,02* (443 %)	–0,8*	–0,56 ± 0,25 –0,7 ± 0,14*
Третья	3,7 ± 0,29 (105,7 %)	0,3	6 ± 1,4 (103,5 %)	0,2	0,8 ± 0,02* (572 %)	–1,2*	–0,43 ± 0,71 –1,2*
Четвертая	3 ± 0,41 (85,7 %)	–0,7	6,7 ± 1,5* (115,5 %)	–0,8*	1 ± 0,03* (714 %)	–1,4*	–0,97 ± 0,38 –1,1 ± 0,42*

Примечание. Достоверность отличия опыта от интактного контроля (* – $p < 0,05$)

Заключение

На основании проведенных экспериментов мы убедились, что разработанная нами комплексная система балльной оценки позволяет объективно анализировать цито- и генотоксическое воздействие микроорганизмов на процессы пролиферации у высших организмов, о чем свидетельствует то, что бактерии рода Bacillus штамма 2/09 способны изменять митотическую активность корневой меристематической ткани *Allium cepa* L. и индуцировать такие аномалии ядерного аппарата клетки, как фрагменты, мосты, отставания и забегания хромосом.

Список литературы

1. Брушков А.В., Мельников В.П., Суховей Ю.Г., Грива Г.И., Репин В.Е., Каленова Л.Ф., Бреннер Е.В., Субботин А.М., Трофимова Ю.М., Танака М., Катаяма Т., Утсуми М. Реликтовые микроорганизмы криолитозоны как возможные объекты геронтологии // Успехи геронтологии. – 2009. – Т. 22, № 2. – С. 253–258.

2. Калаев В.Н., Логачева А.А. Цитогенетические реакции семенного потомства дуба черешчатого (Quercus robur L.) на загрязнение атмосферного воздуха выхлопными газами автотранспорта // Генетика и биотехнология 21 века. Фундаментальные и прикладные аспекты: материалы международ. на-уч. конф. – Минск, 2008. – С. 93–95.

3. Каркищенко Н.Н. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях. – М., 2010. – 358 с.

4. Ковалева О.А. Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // Цитология и генетика. – 2008. – № 1. – С. 58–72.

5. Турбасова Н.В., Ефимова Ю.А., Каленова Л.Ф., Фишер Т.А. Влияние психрофильных микроорганизмов и грибов, выделенных из вечной мерзлоты, на некоторые иммунофизиологические процессы организма лабораторных мышей // Вестник ТюмГУ. – 2011. – № 6. – С. 183–192.

6. Цитленок С.И., Козлова А.А., Пулькина С.В. Использование митотической активности как показателя антропогенной нагрузки в природных и агропопуляциях растений [Томской области] // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы III Междунар. симп. – Томск, 2002. – С. 132–133.

7. Bertrand R., Sarang M., Jenkin J., Kerrigan D., Pommier Y. Differences induction of secondary DNA fragmentation by topoisomerase II inhibitors in human tumor cell lines with amplified c-myc expression // Cancer Res. – 1991. – № 51. – P. 6280–6285.

8. Iwalokun B.A., Oyenuga A.O., Saibu G.M., Ayorinde J. Analyses of Cytotoxic and Genotoxic Potentials of Loranthus micranthus using the Allium cepa Test // Current Research Journal of Biological Sciences. – 2011. – Vol. 3, № 5. – P. 459–467.

9. Koce J. D., Drobne D., Klančnik K., Makovec D., Novak S., Hočevar M. Oxidative potential of ultraviolet-A irradiated or nonirradiated suspensions of titanium dioxide or silicon dioxide nanoparticles on Allium cepa roots // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2014. – Vol. 33, № 4. – P. 858–867.

References

1. Brushkov A.V., Mel'nikov V.P., Suhovej Ju.G., Griva G.I., Repin V.E., Kalenova L.F., Brenner E.V., Subbotin A.M., Trofimova Ju.M., Tanaka M., Katajama T., Utsumi M. Uspehi gerontologii, 2009, Vol. 22, no.2, pp. 253–258.

2. Kalaev V.N., Logacheva A.A. *Genetica i Biotekhnologiya XXI veka. Fundamentalnye i prikladnye aspecty: materialy mezhdunarodnoe nauchnoy konferentsii* (Genetics and Biotechnology of the XXI century. Fundamental and applied aspects: Proc. of the Int. Scien. Conf.). Minsk, 2008, pp. 93–95.

3. Karkischenko N.N. Rukovodstvo po laboratornym zhivotnym i alternativnym modelyam v biomeditsinskikh issledovaniyakh [Guidelines for laboratory animals and alternative models in biomedical research]. Moscow, 2010. 358 p.

4. Kovaleva O.A. Tsitologiya i genetica, 2008, no. 1, pp. 58–72.

5. Turbasova N.V., Efimova Y.A., Kalenova L.F., Fischer T.A. Vestnik TyumGU, 2011, no. 6, pp. 183–192.

6. Tsitlenok S.I., Kozlova A.A., Pulkina S.V. *Control i reabilitatsiya okruzhayuschey sredy: Materialy III Mezhdunarodnogo Simpoziuma* (Control and rehabilitation of the environment: Proc. of the III Int. Symp.).Tomsk, 2002, pp. 132–133.

7. Bertrand R., Sarang M., Jenkin J., Kerrigan D., Pommier Y. Differences induction of secondary DNA fragmentation by topoisomerase II inhibitors in human tumor cell lines with amplified c-myc expression // Cancer Res, 1991, no. 51, pp. 6280–6285.

8. Iwalokun B.A., Oyenuga A.O., Saibu G.M., Ayorinde J. Current Research Journal of Biological Sciences, 2011, Vol. 3, no. 5, pp. 459–467.

9. Koce J.D., Drobne D., Klančnik K., Makovec D., Novak S., Hočevar M. Environmental Toxicology and Chemistry, 2014, Vol. 33. no. 4, pp. 858–867.

Рецензенты:

Петухова Г.А., д.б.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет» Министерства образования и науки России, г. Тюмень;

Дуров А.М., д.м.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет» Министерства образования и науки России, г. Тюмень.

УДК 622.276.04

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

Староконь И.В.

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: starokon79@mail.ru

В статье исследуется усталостная долговечность сварных соединений и основных конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ. Метод расчета долговечности базируется на модифицированной теории С.В. Когаева линейного суммирования повреждений. На основе исследований Р.Г. Губайдулина проведена оценка ресурса сварных соединений опорных блоков морских стационарных платформ. С использованием собственных экспериментальных данных автором был произведен расчет ресурса отремонтированных сварных соединений. Установлено, что ресурс таких соединений составляет приблизительно 30–40% от исходного. Так же на основе собственных выведенных формул автором проанализировано влияние коррозионного и температурного воздействия на усталостную долговечность основных конструктивных элементов опорного блока морской стационарной платформы. В результате расчетов установлено, что совместное действие коррозионного и температурного воздействий снижает усталостную долговечность в некоторых случаях с 21 года до 13 лет.

Ключевые слова: усталостная долговечность, морские стационарные платформы, переменные, циклы, напряжения, колонны, сварные соединения, тавровые, опорный блок, волновая нагрузка, коэффициенты концентрации напряжений

ESTIMATION OF FATIGUE LIFE OF WELDED JOINTS AND BASIC ELEMENTS OF THE SUPPORT BLOCKS OF FIXED OFFSHORE PLATFORMS

Starokon I.V.

Russian state University of oil and gas named after I.M. Gubkina, Moscow, e-mail: starokon79@mail.ru

The article investigates the fatigue life of welded joints and basic structural elements of the support blocks of fixed offshore platforms. Method of calculation of durability is based on a modified theory S.V. Kogaeva of method of linear summation of damage. Based on the research of R.G. Gubaidulina evaluation of resource welded joints basic blocks of fixed offshore platforms. Using their own experimental data, the author has produced a resource calculation of repaired welds. It is established that the resource of such compounds is approximately 30–40% of the original. On the basis of its deduced formulas the author has analyzed the impact of corrosion and temperature effects on fatigue life of the main structural elements of the support block fixed offshore platforms. The calculations established that the combined effect of corrosion and temperature effects reduces fatigue life in some cases from 21 years to 13 years. Also, the author offers a formula that allows to average the values of the coefficients of stress concentration from corrosion, which will allow to correct the values of the fatigue life of the main structural elements of the support block fixed offshore platforms.

Keywords: marine stationary platform, variables, loops, stress, columns, welds, t-sections, base plate, wave load, the coefficients of stress concentration, fatique limit

Для оценки усталостной долговечности как сварных соединений, так и основных конструктивных элементов широко применяется теория С.В. Когаева, которая является модернизированной теорией Палгрейма – Мейера, хорошо апробированной на практике. Для оценки этой длительности необходимо знать значения амплитуд переменных напряжений, условий его нагружения и блоки амплитуд напряжений в течение срока эксплуатации. Кроме этого, необходимо знать механические свойства металла, и для сварных соединений значения остаточных напряжений в металле с учетом воздействия коррозионной среды, влияющие, как это доказано в диссертационной работе И.В. Староконь, на значения пределов выносливости. Опишем методику и рассмотрим пример оценки ресурса сварного соединения опорного блока морской стационарной платфомы, находящегося в подводной зоне, по данным, приведеннам в работе [2], и сравним полученные результаты по скорректированной гипотезе, учитывающей влияние коэффициентов концентрации напряжений для сварных соединений. Также по полученной в диссертационной работе И.В. Староконь кривой усталости проведем оценку усталостной долговечности восстановленного сварного соединения. Приведем исходные данные, необходимые для расчета: высота волны с 1% обеспеченностью составляет 11,2 м, длина волны 149 м, период волны 10,6 с,

глубина моря 30 м, величина статической составляющей номинальных растягивающих напряжений в сварном соединении составляет 80 МПа. Для оценки усталостной долговечности сварного соединения необходимо знать его напряженное состояние, которое позволит разделить напряжения, вызванные различными по величине нагрузками, на блоки амплитуд переменных напряжений за один год эксплуатации. Блок нагружения состоит из нескольких ступеней нагрузок, каждая из них вызывает переменные напряжения, которые можно охарактеризовать амплитудой переменного напряжения σ_{ai}, числом повторений этой амплитуды в ступени v_{ai} и частотой приложения нагрузки v. Долговечность рассчитываемого узла, выраженная количеством блоков нагружения λ, определится по формуле

$$\lambda = \frac{a_p}{\sum_{i=1}^{g} \frac{\upsilon_{i\sigma}\sigma_{ai}^{m_1}}{\sigma_{Rki}^{m_1} N_{Gi}} + \sum_{i=1}^{k} \frac{\upsilon_{i\sigma}\sigma_{ai}^{m_2}}{\sigma_{Rki}^{m_2} N_{Gi}}} \quad (1)$$

$$(\sigma_{ai} > \sigma_{Rk})(\sigma_{ai} < \sigma_{Rk});$$

a_p – критическая степень поврежденности материала, соответствующая моменту разрушения, а остальные значения приведены в работе [2, 3]. Проведем соответствующие расчеты, основываясь на исходных данных, приведенных в работе [2]. Общее количество циклов волновой нагрузки в год по результатам расчета v_σ равно 30532411. Если a_p по результатам расчета менее 0,2, то в расчетах следует принимать равным 0,2 [3], так как меньшее значение не оправдывается экспериментальными результатами. В соответствии с данными DNV-RP-C203 примем $m_1 = 3$ и $m_2 = 5$.

В результате расчета установлено, что долговечность сварного шва составляет **38,7** лет.

Проведем сравнительный анализ расчета долговечности сварного соединения с учетом значений коэффициентов концентрации напряжений, рассчитанных в диссертационной работе И.В. Староконь и в работе [8]. Так как нашей задачей является создание блоков нагружений, а значения коэффициентов концентрации напряжений (ККН) возрастают с течением времени эксплуатации, то необходимо привести эти величины к некоторому среднему значению. По мнению автора, это можно сделать по формуле

$$K = \frac{K_{\min} + 4K_{\text{ср}} + K_{\max}}{6}, \quad (2)$$

где K – коэффициент концентрации напряжений, используемый при описании блока нагрузки; $K_{\min}$, $K_{\max}$, $K_{\text{ср}}$ – минимальные, максимальные и средние значения величин ККН, рассчитанные за рассматриваемый период эксплуатации. $K_{\text{ср}}$ определяется как среднее арифметическое значение. Например, для соединений, представляющих собой соединение подводных частей колонн с горизонтальными элементами, при скорости коррозии 0,12 мм/год коэффициенты концентрации напряжений, используемые при расчете в блоке нагружения для некоторых соединений, равны 1,1–1,14.

Таблица 1

Характеристики блоков амплитуд переменных напряжений в сварном соединении опорного блока МСП

Высота волны, h	Амплитуда переменных напряжений, σ_a	Число случаев повторения амплитуды в блоке, $v_{i\sigma}$	t	$\sigma_i/\sigma_{\max}$
11,2	41	430	$1{,}41\cdot10^{-5}$	$1{,}408\cdot10^{-5}$
9	30	2425	$7{,}94\cdot10^{-5}$	$5{,}811\cdot10^{-5}$
7	20	8447	$27{,}7\cdot10^{-5}$	$13{,}49\cdot10^{-5}$
5,5	16	22912	$75\cdot10^{-5}$	$29{,}28\cdot10^{-5}$
4,5	12	48386	$158{,}5\cdot10^{-5}$	$46{,}38\cdot10^{-5}$
3,5	10	514688	$168{,}57\cdot10^{-4}$	$41{,}11\cdot10^{-4}$
2,5	8	974097	$31{,}9\cdot10^{-3}$	$6{,}22\cdot10^{-3}$
1,5	7	2421847	$7{,}93\cdot10^{-2}$	$1{,}35\cdot10^{-2}$
0,5	5	7539179	$24{,}69\cdot10^{-2}$	$3{,}011\cdot10^{-2}$
< 0,5	3	18849092	$62{,}23\cdot10^{-2}$	$5{,}0086\cdot10^{-2}$

Таблица 2

Значения коэффициентов концентрации напряжений
в зависимости от длительности эксплуатации

Соединяемые элементы	Продолжительность коррозионного воздействия, лет											
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	$К_{ср}$	К
530×14	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,14	1,14
530×18	1,02	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,18	1,20	1,10	1,11

Таблица 3

Характеристики блоков амплитуд переменных напряжений
в сварном соединении опорного блока МСП с учетом коррозионного воздействия

Высота волны, h	Амплитуда переменных напряжений, $\sigma_а$	Число случаев повторения амплитуды в блоке, $v_{i\sigma}$	t	σ_i/σ_{max}
11,2	45,1	430	$1{,}41\cdot10^{-5}$	$1{,}55\cdot10^{-5}$
9	33	2425	$7{,}94\cdot10^{-5}$	$6{,}39\cdot10^{-5}$
7	1,12	8447	$27{,}7\cdot10^{-5}$	$14{,}845\cdot10^{-5}$
5,5	17,6	22912	$75\cdot10^{-5}$	$32{,}21\cdot10^{-5}$
4,5	13,2	48386	$158{,}5\cdot10^{-5}$	$51{,}021\cdot10^{-5}$
3,5	11	514688	$168{,}57\cdot10^{-4}$	$45{,}22\cdot10^{-4}$
2,5	8,8	974097	$31{,}9\cdot10^{-3}$	$68{,}47\cdot10^{-4}$
1,5	7,7	2421847	$7{,}93\cdot10^{-2}$	$14{,}89\cdot10^{-3}$
0,5	5,5	7539179	$24{,}69\cdot10^{-2}$	$33{,}12\cdot10^{-3}$
< 0,5	3	18849092	$62{,}23\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$

Проиллюстрируем влияние этих коэффициентов на величину усталостной долговечности сварных соединений. Как и в предыдущем случае, примем общее количество циклов волновой нагрузки в год v_σ равным 11532411, а величину $a_р$ равной 0,2, если по результатам расчета она будет менее 0,2. Остальные значения те же, что и в предыдущем случае.

При введении этой поправки скорректированный ресурс составит **28,74** лет.

Вторым практически важным моментом является оценка усталостной долговечности сварного соединения после ремонта. Используя полученную экспериментально в третьей главе кривую усталости, рассчитаем ресурс восстановленного соединения. Ввиду отсутствия данных о показателях наклона правой ветви кривой усталости на участке после ее перелома в расчетах будем использовать только те значения напряжений, которые выше установленного ранее предела выносливости в 13 МПа. Отметим, что эти величины переменных амплитуд, значения которых меньше предела выносливости, незначительно влияют на общие показатели долговечности. Значение точки перелома кривой усталости по результатам выполненных автором экспериментов $N_G = 3\cdot10^6$ циклов. В результате расчета установлено, что значение $a_p = 0{,}36$, значение $v_{i\sigma} = 82600$. Получим следующие значения.

Таблица 4

Характеристики блоков амплитуд переменных напряжений
в восстановленном сварном соединении опорного блока МСП

Высота волны, h	Амплитуда переменных напряжений, $\sigma_а$	Число случаев повторения амплитуды в блоке, $v_{i\sigma}$	t	σ_i/σ_{max}
11,2	45,1	430	$52{,}05\cdot10^{-4}$	$52{,}05\cdot10^{-4}$
9	33	2425	$29{,}35\cdot10^{-3}$	$21{,}48\cdot10^{-3}$
7	1,12	8447	$10{,}22\cdot10^{-2}$	$49{,}88\cdot10^{-3}$
5,5	17,6	22912	$27{,}7\cdot10^{-2}$	$10{,}82\cdot10^{-2}$
4,5	13,2	48386	$58{,}57\cdot10^{-2}$	$17{,}14\cdot10^{-2}$

Проведя все необходимые вычисления, получим, что при тех же условиях эксплуатации остаточный ресурс восстановленного сварного соединения составит **6,9** лет. Коэффициенты концентрации напряжений от коррозионного воздействия при такой незначительной длительности эксплуатации не оказывают существенного влияния, увеличивая амплитуды переменных напряжений приблизительно на 4%, поэтому их влиянием можно пренебречь. В соответствии с методикой Серенсена и Когаева [3] исследуем усталостную долговечность колонн, раскосов и горизонтальных элементов. Расчет долговечности будет производиться по базовой гипотезе, в которой учитываются переменные амплитуды, вызванные ветроволновым воздействием, и по скорректированной гипотезе, в которой учитываются температурные, вибрационные и коррозионные воздействия. Рассчитаем эквивалентные амплитуды напряжений для горизонтальных элементов опорного блока МСП, выполненных из стали 09Г2С. На основании данных, приведенных в диссертационной работе И.В. Староконь рассчитаем ресурс горизонтальных элементов опорного блока МСП, расположенного в зоне периодического смачивания, в которой действуют максимальные переменные напряжения. Как показали расчеты, при скорости ветра 10 м\с амплитуда переменного напряжения составляет менее 22,5 МПа, что в соответствии с требованиями [3] позволяет ее не учитывать при расчетах, т.к. такая величина амплитуды не оказывает повреждающего воздействия. При скорости ветра 15 м/с возникает переменная амплитуда напряжений 23 МПа, при скорости ветра 20 м/с переменная амплитуда напряжений равна 36 МПа, при скорости ветра 25 м/с переменная амплитуда напряжений равна 47 МПа. Расчетами по указанной в [2, 3] методике было установлено, что долговечность горизонтального элемента составляет приблизительно 21,3 года. Основные этапы расчета приведены в табл. 5.

Следует отметить, что элементы опорного блока, находящиеся в надводной зоне, подвержены температурно-коррозионному воздействию. Коррозионное воздействие, изменяет механические и геометрические характеристики конструктивных элементов ОБ МСП, что изменяет площадь поперечного сечения, момент инерции и сопротивления, увеличивая значения действующих в сечении элементов напряжений. В результате расчета было установлено, что значение суммы относительных повреждений равно 0,2. Основные этапы расчета приведены в табл. 6. Введение усредненного за двадцатилетний срок эксплуатации коэффициента концентрации напряжений от коррозионного воздействия 1,25 снижает долговечность горизонтальных элементов, расположенных в зоне переменного смачивания, с 21 года до 13 лет.

Таблица 5

Расчет ресурса горизонтальных элементов опорного блока МСП

Скорость ветра	Значение амплитуды переменного напряжения σ_a, от ВВН	Количество повторений *i*-й амплитуды в блоке	Относительная наработка на *i*-м уровне напряжений	Произведение относительной наработки на *i*-м уровне на отношение *i*-й амплитуды к максимальной амплитуде в блоке
10 м/с	≤ 22,5МПа	–	–	–
15 м/с	23	544186	0,319902833	0,156548195
20 м/с	36	67583	0,039728943	0,03043068
25 м/с	47	14545	0,008550627	0,008550627

Таблица 6

Расчет ресурса горизонтальных элементов опорного блока МСП с учетом коррозионного воздействия

Скорость ветра	Значение амплитуды переменного напряжения σ_a, от ВВН	Количество повторений *i*-й амплитуды в блоке	Относительная наработка на *i*-м уровне напряжений	Произведение относительной наработки на *i*-м уровне на отношение *i*-й амплитуды к максимальной амплитуде в блоке
10 м/с	≤ 22,5МПа	–	–	–
15 м/с	28,75	544186	0,319902833	0,156551324
20 м/с	45	67583	0,039728943	0,030431288
25 м/с	58,75	14545	0,008550627	0,008550798

Таблица 7

Расчет ресурса горизонтальных элементов опорного блока МСП с учетом температурного воздействия

Скорость ветра	Значение амплитуды переменного напряжения σ_a от ВВН	Количество повторений *i*-й амплитуды в блоке	Относительная наработка на *i*-м уровне напряжений	Произведение относительной наработки на *i*-м уровне на отношение *i*-й амплитуды к максимальной амплитуде в блоке
10 м/с	≤ 22,5МПа	–	–	–
15 м/с	23	544186	0,319909227	0,105113032
20 м/с	36	67583	0,039729737	0,020432436
25 м/с	47	14545	0,008550798	0,00574125
Температурные напряжения	70	331	0,000194584	0,000194584

Оценивая температурное воздействие, можно отметить, что несмотря на то, что температурное воздействие имеет малую частоту циклов, тем не менее она создает значительные по величине переменные напряжения. В работах [4, 5, 6, 7] описана методика оценки температурного состояния конструктивных элементов опорного блока. Повреждающее действие переменных амплитуд напряжений должно быть не менее 22,5 МПа. Совершенно очевидно, что размах температурного напряжения для оказания повреждающего воздействия должен быть равен 55 МПа, что при известных значениях модуля Юнга (приблизительно 205 000 МПа для стали 09Г2С в зависимости от температуры окружающей среды) и коэффициента линейного теплового расширения ($11{,}5\cdot10^{-6}$ 1/°С для стали 09Г2С) достигается при суточном перепаде температур конструктивного элемента приблизительно в 24 °С. Это условие выполняется, например, при соответствующем суточном колебании температур, либо при действии. Так, например, для горизонтального элемента диаметром 325 мм с толщиной стенки 8 мм и массой 312,5 кг это условие может быть выполнено при плотности теплового потока 384 Вт/м^2. Расчеты показывают, что в условиях Черного моря при степени прозрачности атмосферы 0,38 значение плотности теплового потока менее 384 Вт/м^2 достигаются в период 3 декабря (337 день, отсчитываемый с 1 января) по 6 января. То есть при расчете усталостной долговечности в рассматриваемом нами примере следует принимать не 365 циклов в год, а 331. Следует также отметить, что в диссертационной работе И.В. Староконь показано, как именно сложное напряженное состояние, вызванное температурным воздействием, может привести к эквивалентным циклам растяжения. Покажем, как влияет на усталостную долговечность температурное воздействие.

В результате расчетов установлено, что ресурс с учетом влияния переменных напряжений, вызванных температурными напряжениями, составляет 20,96 лет, т.е. снижается приблизительно на 4 месяца. Таким образом, можно сделать вывод о том, что для горизонтальных элементов температурное и коррозионное воздействие снижают долговечность элементов. Однако если температурное воздействие снижает долговечность на месяцы, то коррозионное снижает на годы.

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.

2. Губайдулин Р.Г., Губайдулин М.Р., Тиньгаев А.К. Определение остаточного ресурса опорного блока морской стационарной платформы // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2012. – № 1 – С. 80–85.

3. Серенсен С.В., Когаев В.П. и др. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность // Руководство и справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

4. Староконь И.В. Методика оценки воздействия солнечного излучения на температурное состояние морских

стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.

5. Староконь И.В. Исследование влияния окружающей среды на тепловое состояние конструктивных элементов опорных блоков морских стационарных платформ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5

6. Староконь И.В. Методика исследования напряженного состояния сварных соединений опорных блоков морских стационарных платформ // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (15). – С. 3394–3399.

7. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

8. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11 (часть 5). – С. 1214–1219.

References

1. Borodavkin P.P. Morskie neftegazovyie sooruzheniya: uchebnik dlya vuzov. Chast 1. Konstruirovanie. M.: OOO «Nedra-Biznestsentr», 2006. 555 p.

2. Gubaydulin R.G., Gubaydulin M.R., Tingaev A.K. Opredelenie ostatochnogo resursa opornogo bloka morskoy statsionarnoy platformyi // Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN, 2012 no. 1. pp. 80–85.

3. Serensen S.V., Kogaev V.P. i dr. Nesuschaya sposobnost i raschetyi detaley mashin na prochnost // Rukovodstvo i spravochnoe posobie. M.: Mashinostroenie, 1975. 488 p.

4. Starokon I.V. Metodika otsenki vozdeystviya solnechnogo izlucheniya na temperaturnoe sostoyanie morskih statsionarnyih platform // Sovremennyie problemyi nauki i obrazovaniya. 2014. no. 2.

5. Starokon I.V. Issledovanie vliyaniya okruzhayuschey sredyi na teplovoe sostoyanie konstruktivnyih elementov opornyih blokov morskih statsionarnyih platform // Sovremennyie problemyi nauki i obrazovaniya. 2014. no. 5.

6. Starokon I.V. Metodika issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya svarnyih soedineniy opornyih blokov morskih statsionarnyih platform // Fundamentalnyie issledovaniya. 2013. no. 10 (15). pp. 3394–3399.

7. Starokon I.V. Osnovyi teorii i praktiki obrazovaniya ustalostnyih treschin na morskih neftegazovyih sooruzheniyah // Sovremennyie problemyi nauki i obrazovaniya. 2012. no. 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

8. Starokon I.V. O vliyanii korrozionnogo vozdeystviya na razvitie ustalostnyih treschin na morskih neftegazovyih sooruzheniyah // Fundamentalnyie issledovaniya, no. 11 (chast 5). 2012 god. pp. 1214–1219.

Рецензенты:

Бородавкин П.П., д.т.н., профессор, генеральный директор, АО «Интергаз», г. Москва;

Литвин И.Е., д.т.н., генеральный директор, ООО «СТД», г. Москва

УДК 616.617-089

ОСТЕОПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКРОПОРИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА В РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОГО ДЕФЕКТА ТРУБЧАТОЙ КОСТИ КРОЛИКА

[2,3]Шумилова А.А., [3]Шишацкая Е.И., [1]Маркелова Н.М., [1]Винник Ю.С., [1]Зуев А.П., [1]Кириченко А.К., [1]Соловьева Н.С.

[1]ГБОУ ВПО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, Красноярск, e-mail: markelova_nadya@mail.ru;
[2]Сибирский федеральный университет, Красноярск;
[3]Институт биофизики СО РАН, Красноярск

Регенерация дефектов длинных трубчатых костей различного генеза является одной из актуальных проблем в хирургии и травматологии, что связано с ростом травматизма, который сопровождается возникновением анатомо-функциональных нарушений конечности, сокращением локального костного сегмента, что приводит к инвалидизации и утрате функции конечности. В данной экспериментальной работе исследованы остеопластические свойства пористого полимерного имплантата на основе полиэфиров 3-гидроксимасляной кислоты, в сравнении с коммерческим препаратом «Коллапол» для регенерации костного дефекта трубчатой кости кролика. Доказано, что на 90 сутки наблюдения в зоне имплантации П3ГБ происходит активное формирование новообразованной кости, имеющей зрелый характер. Это подтверждает развитое пластинчатое строение и формирование остеонов, по сравнению со слабыми репаративными признаками остеогенеза при имплантации коммерческого материала. Отмечено, что использование полимерного имплантата П3ГБ с пористой структурой способствует большей активности остеоинтегративных процессов за счет врастания новообразующей костной ткани в поры матрикса и его постепенному биоразрушению *in vivo*.

Ключевые слова: костный дефект, остеопластические свойства, пористый имплантат, биосовместимость, биоразрушаемость, остеогенез, полигидроксиалканоаты

OSTEOPLASTIC PROPERTIES MACROPOROUS IMPLANTS BASED ON POLY-3-HYDROXYBUTYRATE IN THE REGENERATION OF BONE DEFECTS OF TUBULAR BONES RABBIT

[2,3]Shumilova A.A., [3]Shishatskaya E.I., [1]Markelova N.M., [1]Vinnik Y.S., [1]Zuev A.P., [1]Kirichenko A.K., [1]Soloveva N.S.

[1]GBOU VPO «Krasnoyarsk State Medical University prof. V.F. Vojno-Yasenetsky» Russian Ministry of Health, Krasnoyarsk, e-mail: markelova_nadya@mail.ru;
[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk;
[3]Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk

Regeneration defects of long bones of various origins is one of the urgent problems in surgery and traumatology, which is associated increase in injuries, which is accompanied by the presence of anatomical and functional disorders of the limbs, reduced local bone segment can lead to disability and loss of function of the limb. We studied the properties osteoplastic porous polymer based implant 3-hydroxybutyric acid polyesters in comparison with the commercial preparation «Kollapol» to regenerate the bone defect rabbit cortical bone. It proved that after 90 days of the experiment in the implantation P3GB mentioned active formation of newly formed bone, has matured, as evidenced developed lamellar structure and formation osteons, compared with the weak features reparative osteogenesis when implanted commercial material. It is noted that the use of a polymeric implant with a porous structure P3GB promotes osseointegration process to be more active due to ingrowth of newly forming bone into the pores of the matrix and its gradual biodegradation in vivo.

Keywords: bone defect, osteoplastic properties, of porous implant, biocompatibility, biodegradability, osteogenesis, polyhydroxyalkanoates

Восстановление костной ткани человека после перенесенной тяжелой травмы и устранение массивных дефектов костей остается актуальной проблемой современной медицины [1, 10].

В нормальных условиях репарация костной ткани происходит за счет остеобластов надкостницы, которые проникают в зону перелома и восстанавливают целостность кости [4, 6]. Несмотря на достаточно активную способность к репарации, костная и хрящевая ткань иногда не в состоянии полностью устранить дефицит тканей, возникший в результате действия повреждающего фактора, что является серьезной проблемой в реконструктивной хирургии и ортопедии. Попытки восстановить утраченную часть кости или хряща предпринимались с давних пор и сводились, прежде всего, к аллотрансплантации или использованию синтетических материалов [11, 17]. Однако у этих широко применяемых,

и ставших уже рутинными технологий есть множество недостатков: от наличия иммунологического барьера и дефицита пластического материала до остаточного ограничения качества жизни даже после установки синтетических протезов).

Основную часть биоматериалов для восстановления костных дефектов до недавнего времени получали из хрящевой и/или костной тканей человека и животных, а также компонентов кожи, сухожилий, мозговой оболочки [3, 8, 12]. Однако такие материалы должны готовиться непосредственно перед трансплантацией, либо клиника должна иметь банк для хранения такого материала, что доступно крупным специализированным медицинским центрам; возможности получения значительных количеств аутоматериала весьма ограничены. Все это существенно ограничивает широкое применение аутотрансплантатов.

Значительную роль в ортопедии и травматологии играют металлы [2, 5, 16]. Однако применение при лечении переломов трубчатых костей металлических аппаратов внешней фиксации (АВФ), крепежных элементов в виде винтов, спиц и стержней требует повторного хирургического вмешательства для удаления конструкции и часто сопровождается возникновением эндопротез-ассоциированных осложнений (металлозы, аутоиммунные реакции, асептическое воспаление), а также выделением из металлической конструкции токсических компонентов (никель, хром и др.) [7, 13]. Несмотря на широкое распространение биокерамики, в основном гидроксиапатита, в хирургической стоматологии, ортопедии и травматологии, недостатками такого материала являются его низкая резорбция, что порой приводит к «замуровыванию» имплантированного материала на стадиях *in vivo* или очень длительному процессу восстановления костной ткани – более 1–2 года, а также низкие остеоиндуктивные свойства материала [9, 15].

В настоящее время наиболее перспективными являются биоразрушаемые полиэфиры монокарбоновых кислот, таких как полилактиды, полигликолиды, полигидроксиалканоаты и т.д. Эти полиэфиры, при свойственном им высоком уровне биосовместимости, распадаются в организме и в окружающей среде на безвредные фрагменты, метаболизирующиеся в конечном случае до воды и углекислого газа, а в некоторых случаях сами являются естественными метаболитами организма [14].

Полигидроксиалканоаты (ПГА) представляют огромный интерес для восстановительной хирургии кости в силу их медленной биорезорбции и высокой биосовместимости. Перспективность ПГА для реконструктивного остеогенеза связана также с наличием у ПГА пьезоэлектрического эффекта.

Цель настоящей работы: исследование остеопластических свойств пористого имплантата на основе поли-3-гидроксибутирата в экспериментальной модели дефекта трубчатой кости кролика.

Материалы и методы исследования

Конструирование ПГБ имплантатов

Для исследований был использован высокоочищенный, измельченный до порошкообразного состояния гомополимер 3-гидроксимасляной кислоты (П3ГБ). Пористые полимерные объемные матриксы получали с использованием техники выщелачивания. Кусочки сахарозы, предварительно спрессованные до размера (1×1×1 см) на лабораторном автоматизированном прессе Carver Auto Pellet 3887, пропитывали раствором полимера в хлороформе, затем сушили при температуре 30°С. После испарения растворителя матриксы промывали в дистиллированной воде для растворения и удаления сахарозы. Полученный пористый каркас из полимера обрезали до нужных размеров (0,5×0,5×0,5 см^3) и использовали в эксперименте.

Свойства имплантатов

Микроструктуру поверхности полимерных композитов и матриксов исследовали с применением сканирующей электронной микроскопии (микроскоп TM-3000, Hitachi, Япония). Суммарную пористость и влагопоглощение матриксов определяли методом предельной адсорбции воды. Физико-механические характеристики образцов регистрировали на универсальной электромеханической испытательной машине Instron 5565,5 KN (Великобритания).

Исследование пористых матриксов in vitro

Изоляция культуры ММСК

ММСК выделены из бедренных и большеберцовых костей умерщвленных передозировкой эфирной ингаляции лабораторных крыс. Костный мозг выделяли в асептических условиях после удаления шейки кости; в открытый костномозговой канал с помощью шприца вводили 1 мл среды α-МЕМ с добавлением 20% телячьей сыворотки и 50 ед. гепарина, костный мозг вымывали и тщательно суспендировали, затем дважды центрифугировали и промывали питательной средой, суспензию клеток переносили в чашку Петри диаметром 90 мм и помещали в CO_2-инкубатор.

Посев ММСК на матриксы

П3ГБ пористые матриксы были простерилизованы H_2O_2-плазмой (медицинский стерилизатор Sterrad N.X., Jh.&Jh., США) и помещены в 24-луночные культуральные планшеты. После 3 пассажей проводили рассев клеток на стерильные матриксы из расчета 100 000 клеток/мл. Культивирование клеток на матриксах проводили в течение 21 дня в среде ДМЕМ с добавлением 10% ЭТС, раствора антибиотиков, 0,15 мМ аскорбиновой кислоты, 10 нМ дексаметазона и 10мМ β-глицерофосфата (реактивы Sigma-Aldrich) в 5%-й атмосфере CO_2 при 37°С с заменой среды на каждый третий день.

Активность щелочной фосфатазы

Для подтверждения дифференцировки клеток в остеобластоподобные использовали один из био-

химических маркеров формирования костной ткани – активность фермента костной щелочной фосфатазы, выделяемой остеобластами и предположительно участвующей в минерализации остеоидов. Щелочную фосфатазу оценивали с помощью Alkaline Phosphatase Detection Kit (Sigma) согласно приложенному протоколу.

Исследование пористых матриксов in vivo

Остеопластические свойства П3ГБ исследованы на модели костного дефекта бедренной кости диафизарной зоны у кроликов-самцов породы шиншилла 4–5-месячного возраста. В эксперименте использовано 12 животных, по 4 в каждой группе ($n = 3$). Костный дефект в первой экспериментальной группе закрывали пористым матриксом на основе П3ГБ, во второй группе – композитным материалом гидроксиапатит/коллаген (препарат «Коллапол», ЗАО Полистом, Москва). В группе сравнения восстановление дефекта осуществляли аутокостью (рис. 1).

Для морфологического исследования образцы костной ткани подвергались декальцинации в растворе «Трилона-Б» с последующей парафиновой проводкой. Гистологические срезы толщиной 5–7 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. При микроскопическом исследовании оценивали состояние окружающих кость мягких тканей, надкостницы, кортикального слоя, костномозгового канала.

Результаты исследования и их обсуждение

Сконструированы и исследованы 3D пористые матриксы на основе П3ГБ диаметром 4 мм, высотой 5 мм, весом 0,0552 г. Анализ микроструктуры носителей, выполненный с применением морфологического анализа (программа обработки данных

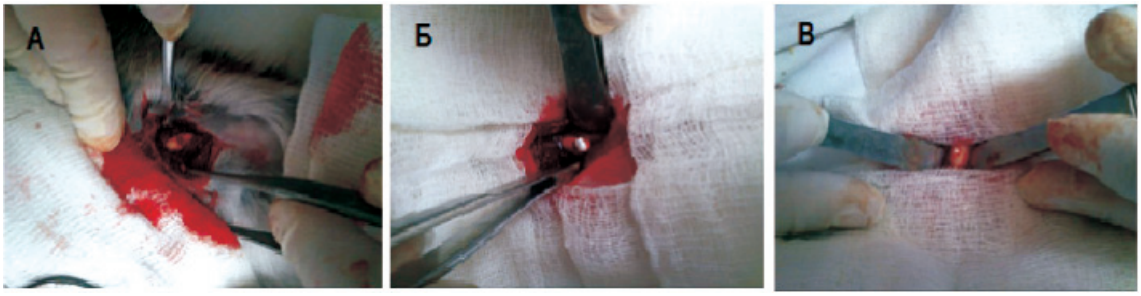


Рис. 1. Технология эксперимента пластики костного дефекта: А – группа сравнения; 2 – группа с применением «Коллапола»; В – пористый матрикс на основе П3ГБ

Под ксилазиновым наркозом после обработки операционного поля 70 % спиртовым раствором хлоргексидина по переднемедиальной поверхности бедра животным производили разрез кожи длиной 5 см. Мышцы тупым способом разводили и фиксировали. С помощью остеотома на передней поверхности бедра кролика моделировали костный дефект размером 3×4 мм. Далее в костную полость имплантировали матриксы на основе П3ГБ и «Коллапол» (экспериментальные группы), при этом пластика выполнена таким образом, чтобы вся полость дефекта кости была заполнена. Поверх дефекта выполняли периостальную пластику надкостницы ультратонкой пленкой из ПГА. Рана послойно ушивалась наглухо. Накладывалась асептическая повязка. Для профилактики переломов дополнительно проводили иммобилизацию конечности гипсовой лонгетой. Перевязку проводили один раз в сутки в течение семи дней. На протяжении первых трех суток с целью обезболивания вводили в/м Sol. Ketonali 0,1. В послеоперационном периоде осуществляли динамическое наблюдение за состоянием животных (аппетит, двигательная активность, состояние оперированных конечностей). Рентгенологическое исследование оперированных конечностей опытных животных выполняли на аппарате РУМ-20 в режиме 44 mA 0,1 kB с экспозицией в 1 с. Проводили сравнительный анализ рентгенографических данных на 60-е, 90-е, 120-е сутки после пластики костной полости. Оценивались размеры костного дефекта, его форма, однородность структуры регенерата, состояние надкостницы, кортикальной пластины и костномозгового канала, а также переломы в месте формирования дефекта.

Scanmaster), показал, что кроме основных крупных пор в носителе сформирована система более мелких пор по границе контактов между полимерными ячейками; приведены соответствующие дифференциальные и интегральные кривые распределения пор по размерам. Суммарная площадь всех выделенных пор составляет около 87,3 %. При этом крупные поры размером 104–120 мкм составляют в носителе до 90 %; остальные 10 % приходятся на мелкие поры (5,7–10 мкм). Результаты компьютерного анализа согласуются с экспериментальными данными по определению суммарного объема пор по влагоемкости (88 %). Влагопоглощение полимерного носителя составило 38,5 ± 0,20 %.

По результатам МТТ-теста (рис. 2), проведенного на 3, 7 и 10 сутки, количество клеток на на 3D матриксах составило $0{,}63 \cdot 10^5$ клеток/мл, что достоверно выше, чем на культуральном пластике $0{,}3 \cdot 10^5$ клеток/мл. Результаты определения активности щелочной фосфатазы согласуются с результатами МТТ-теста. ЩФ на 10 сутки культивирования ММСК на среде с факторами дифференцировки составила у клеток на 3D матриксах 3,908 ммоль/минуту$\cdot 10^5$ клеток по сравнению с контролем (рис. 3).

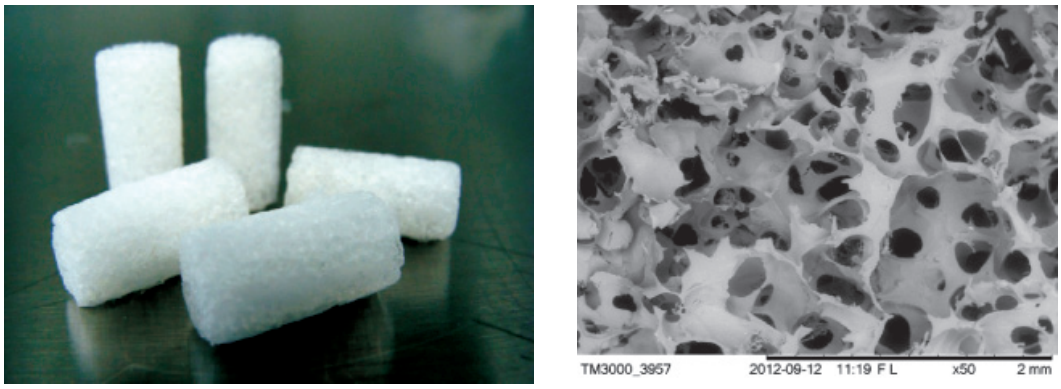


Рис. 2. 3D пористые матриксы на основе П3ГБ (слева – фотография, маркер 1 см; справа – РЭМ-изображение)

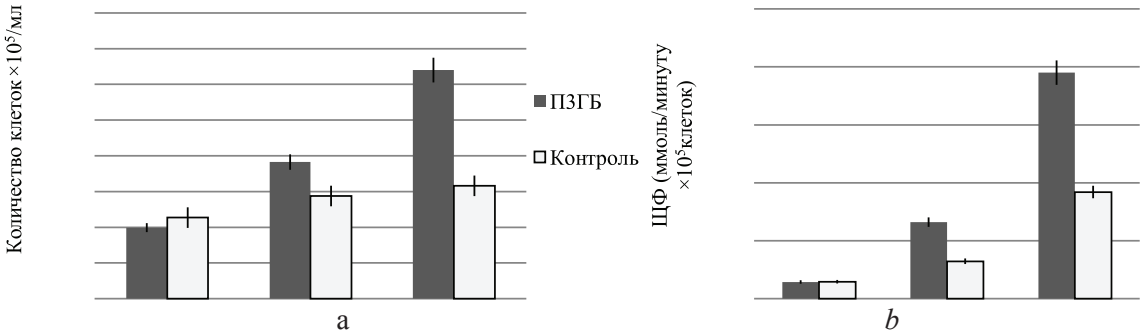


Рис. 3. Исследование способности матриксов адгезировать дифференцированные клетки ММСК в сравнении с контролем (культуральный пластик): a – количество жизнеспособных остеобластов на 3D матриксах; b – активность щелочной фосфатазы остеобластов на 3D матриксах после 10 дней культивирования.

Результаты эксперимента in vivo

Результаты сравнительного анализа клинической картины у экспериментальных животных первой экспериментальной группы (после замещения дефекта ПГБ) и второй экспериментальной группы (замещение Коллаполом) и группы сравнения представлены в таблице.

В раннем послеоперационном периоде наблюдали вялое состояние животных, кролики мало двигались, не опирались на оперированную конечность. Восстановление аппетита и двигательной активности кроликов произошло к 3–5 суткам, на 7–9 сутки после операции у животных второй экспериментальной группы появлялся отек мягких тканей в области операции, в группе сравнения – локальная гиперемия кожи. В среднем на 15,5 ± 1,2 сутки отек и гиперемия купировались. Опора на конечность появлялась на 5,01 ± 1,5 сутки после операции. Операционные раны заживали *per prima*, случаев нагноения не отмечено, послеоперационные швы удалялись на 7 сутки. Летальных случаев не зафиксировано.

При анализе рентгенологических исследований оперированных конечностей кроликов выявлено следующее. При замещении костного дефекта пористым 3D матриксом на основе П3ГБ уже на 60-е сутки определялась полость округлой формы в средней трети бедренной кости размерами 1,5×2 мм, что значительно меньше, чем во второй экспериментальной группе. Полость дефекта имела четкие контуры, без ободка склероза. Надкостница не изменена, периостальная реакция отсутствовала. На 120-е сутки произошло полное восстановление костного дефекта бедренной кости (рис. 4).

Во второй экспериментальной группе на 60-е сутки на обзорной рентгенограмме нижних конечностей, после имплантации Коллапола, определялась полость округлой формы в средней трети бедренной кости размерами 2×3 мм. Полость с четкими контурами без ободка склероза. Однако, на 120-е сутки в данной группе произошло сокращение размеров костного дефекта бедренной кости в 2 раза в сравнении с R-картиной на 60-е сутки наблюдения, визуализировалось уменьшение полости до 1×1,5 мм. Контуры полости нечеткие за счет прорастания (заполнения) костной ткани в полость дефекта, периостальная реакция отсутствовала, тем не менее полного восстановления дефекта не произошло.

Течение послеоперационного периода у экспериментальных животных

Исследуемый признак	Сутки после операции (M ± SD)		
	Первая (ПЗГБ) экспериментальная	Вторая («Коллапол») экспериментальная	Группа сравнения (пластика аутокостью)
Восстановление опороспособности оперированной конечности	5 ± 0,9*	6 ± 0,9*	6 ± 1,2
Заживление операционной кожной раны	7,4 ± 0,9*	7,2 ± 0,9*	8,9 ± 1,7
Купирование отека и гиперемии мягких тканей	8,75 ± 0,96*	9,28 ± 0,9*	11,7 ± 1,8

Примечание. * – данные статистически достоверны при $p < 0,05$.

Рис. 4. Данные рентгенологических исследований динамики восстановления модельного дефекта костной ткани: А – группа сравнения; Б – вторая экспериментальная группа; В – первая экспериментальная группа (3D пористые имплантаты на основе ПЗГБ)

В группе сравнения на обзорной рентгенограмме на 60-е сутки определялся патологический перелом бедренной кости в средней трети (в области ранее сформированного дефекта костной ткани) со смещением костных отломков по ширине и под углом, диастазом последних 3–4 мм. Определялись признаки выраженной периостальной реакции костных отломков, локальные очаги деструкции костной ткани, остеолизис. На 120-е сутки происходила его частичная консолидация в сравнении с R-картиной на 60-е сутки наблюдения. Визуализировалось формирование ложного сустава в месте перелома, признаки хронического периостального воспаления, локальные очаги деструкции костной ткани.

При гистологическом исследовании через 30 дней в зоне дефекта при имплантации пористого матрикса ПЗГБ вокруг имплантата определяется неравномерной толщины зона из рыхлой волокнистой соединительной ткани, содержащая инфильтрацию из лимфоцитов и немногочисленных сегментоядерных лейкоцитов (рис. 5). В ряде полей зрения клеточная инфильтрация, включающая единичные макрофаги, распространяется на пористый матрикс. Через месяц после имплантации коммерческого препарата «Коллапол» поверхность моделированного дефекта костной ткани покрыта слоем некротических масс, фибрина в которых видны костные отломки. Вокруг имплантата наблюдалась развитая воспалительная инфильтрация с преобладанием полиморфноядерных лейкоцитов (рис. 6). Костный дефект в группе сравнения на этом сроке после оперативного вмешательства был заполнен рыхлой волокнистой соединительной тканью, богатой капиллярного типа сосудами, содержащей неравномерно выраженную инфильтрацию из лимфоцитов, немногочисленных нейтрофилов, макрофагов.

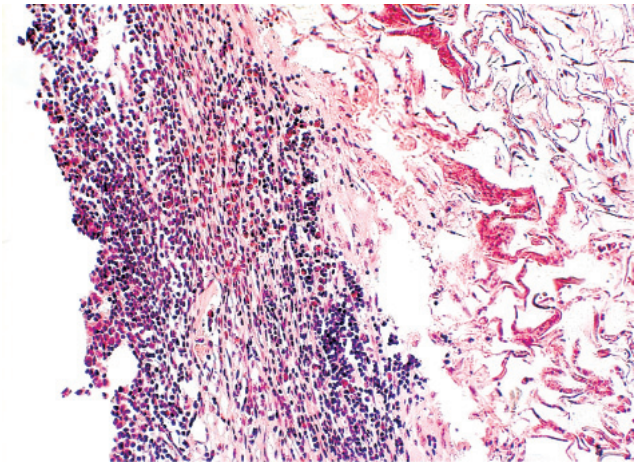


Рис. 5. Костный дефект через 30 дней после имплантации пористого матрикса ПЗГБ. Вокруг имплантата определяется воспалительный вал из лимфоцитов и сегментоядерных лейкоцитов

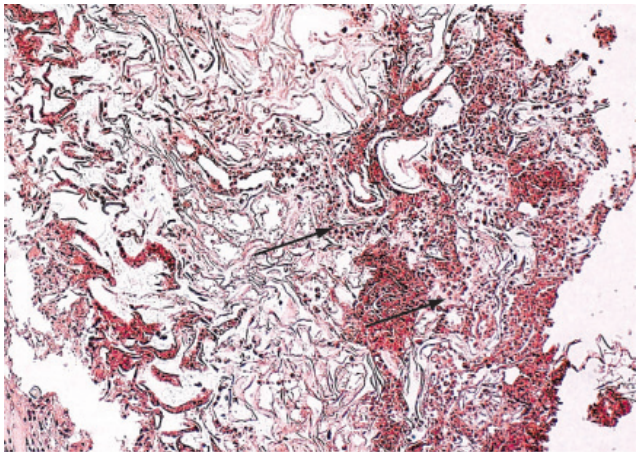


Рис. 6. Дефект костной ткани через месяц после имплантации коммерческого препарата «Коллапол». Развитая воспалительная реакция вокруг имплантата с преобладанием полиморфноядерных лейкоцитов (↑)

Спустя 60 дней в первой экспериментальной группе матрикс П3ГБ окружен рыхлой волокнистой соединительной тканью, содержащей многочисленные макрофаги, в том числе гигантские многоядерные остеокластоподобные клетки, обеспечивающие лакунарную резорбцию костных фрагментов (рис. 7). Со стороны рыхлой соединительной ткани в толщу пористого имплантата врастают мелкие тонкостенные кровеносные сосуды капиллярного типа. На периферии имплантатов появляются участки из плотной волокнистой соединительной ткани, включающие остеобласты, что является признаком начала процесса замещения мягкой соединительной мозоли на остеоидное вещество. На этом сроке хорошо заметна резорбция полимерного имплантата, сопровождающаяся его фрагментацией.

Во второй экспериментальной группе на 60 сутки послеоперационного периода полость дефекта была заполнена преимущественно зрелой соединительной тканью, в которой располагаются частицы материала «Коллапол», окруженные лимфоцитами, полиморфноядерными лейкоцитами, макрофагами. Сохраняются участки, представленные клеточным детритом с перифокальной воспалительной реакцией (рис. 8).

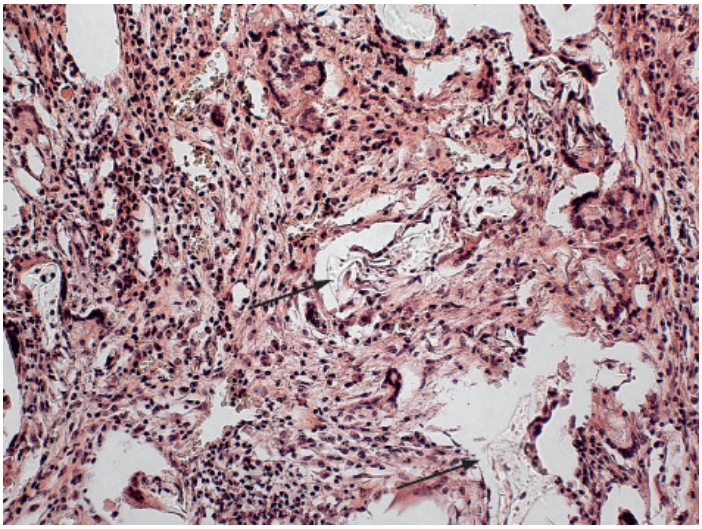


Рис. 7. Матрикс П3ГБ в опытной группе спустя 60 дней после операции. Многочисленные гигантские многоядерные клетки в волокнистой соединительной ткани, окружающей фрагменты пористого имплантата. Резорбция полимерного имплантата, сопровождающаяся его фрагментацией (↑)

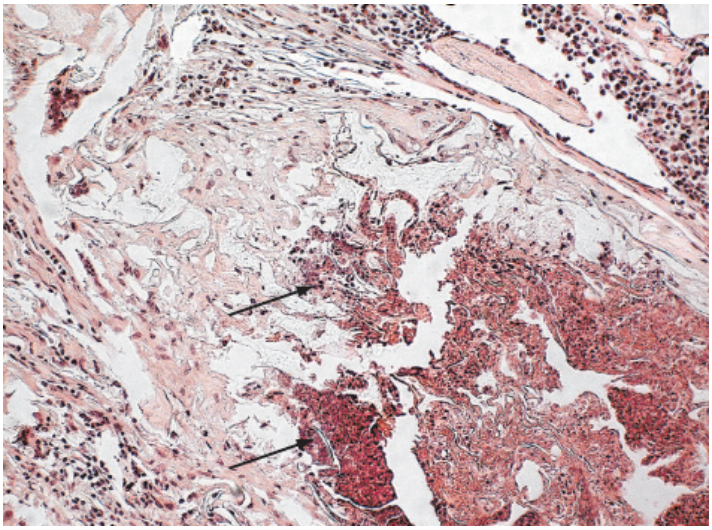


Рис. 8. Зона дефекта в группе сравнения на 60 день послеоперационного периода. Возле частиц материала «Коллапол» сохраняются участки, редставленные клеточным детритом с перифокальной воспалительной реакцией (↑)

В группе сравнения дефект заполнен слабо васкуляризированной грубоволокнистой рубцовой тканью с фрагментами незрелого хряща.

На 90 сутки эксперимента в зоне имплантации ПГБ регистрируется активное формирование новообразованной костной массы. Новообразованная кость имеет относительно зрелый характер с отчетливо выраженным пластинчатым строением, формированием остеонов (рис. 9). Центр костного регенерата представлен новообразованными остеоидными балками, на периферии костные структуры имеют достаточно упорядоченное расположение, их граница с окружающей дефект костью выражена нечетко. Костномозговой канал равномерно широкий, заполнен костным мозгом. На данном этапе репаративные процессы протекают без активного участия гистиоцитов и многоядерных клеток, без выраженной воспалительной реакции.

Во второй экспериментальной группе через три месяца после имплантации препарата «Коллапол» репаративный остеогенез отличается сохранением в центре дефекта относительно крупных участков из рыхлой неоформленной и плотной волокнистой соединительной ткани (рис. 10).

В группе сравнения зона повреждения заполнена костной мозолью из вновь сформированной кости с хаотично расположенными, имеющими разнообразную форму балками и полостями с костным мозгом (рис. 11). Костномозговой канал неравномерно сужен.

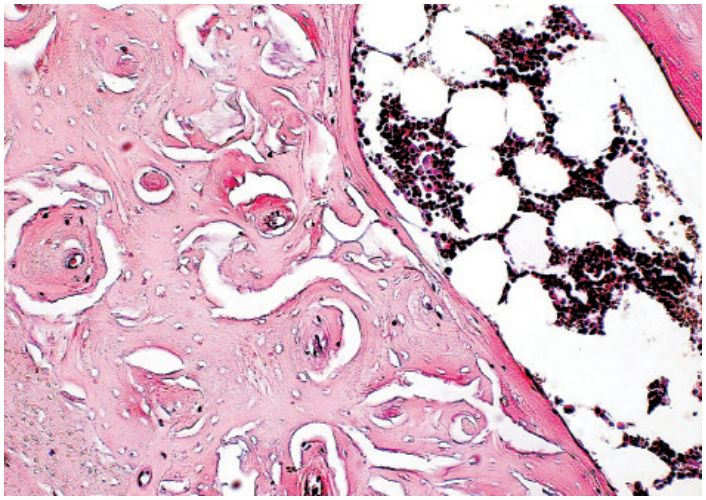


Рис. 9. Результаты эксперимента через 90 суток. В зоне имплантации ПГБ определяется новообразованная кость, имеющая достаточно зрелый вид. Костномозговой канал содержит костный мозг

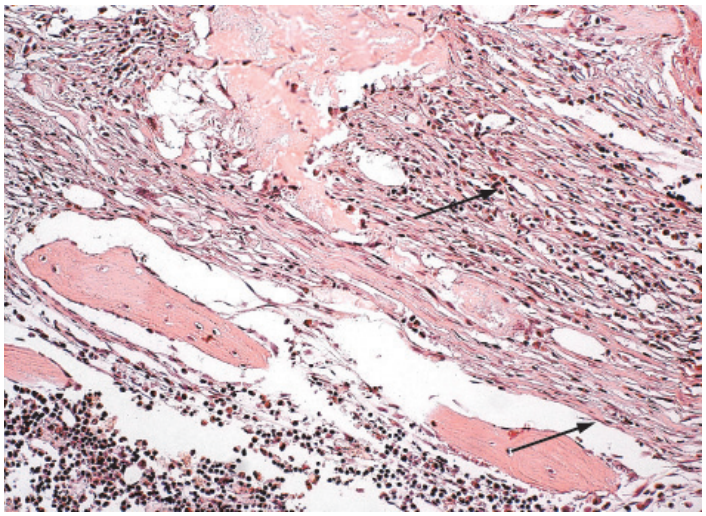


Рис. 10. Репаративный остеогенез через три месяца после имплантации препарата «Коллапол». В центре дефекта сохраняются относительно крупные участки из волокнистой соединительной ткани (↑)

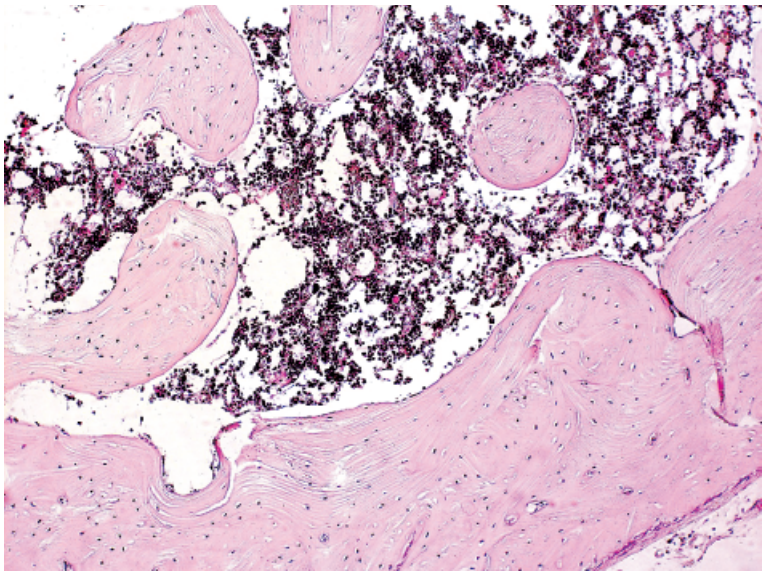


Рис. 11. Зона повреждения в контрольной группе через 90 суток. Определяется костная мозоль из вновь сформированной кости с хаотично расположенными балками и полостями с костным мозгом

Таким образом, по данным рентгенологических и морфологических исследований установлено, что при имплантации пористого объемного носителя на основе ПЗГБ процесс регенерации костной ткани происходит быстрее, с менее выраженной экссудативной воспалительной реакцией, с формированием новообразованной кости, имеющей более зрелый характер.

Работа выполнена за счет средств государственного задания на проведение фундаментальных исследований РАН (проект № гос. регистрации 01201351505).

Список литературы

1. Волова Т.Г., Севастьянов В.И., Шишацкая Е.И. Полигидроксиалканоаты (ПГА) – биоразрушаемые полимеры для медицины. – Новосибирск.: СО РАН, 2003. – 260 с.

2. Волова Т.Г., Шишацкая Е.И., Миронов П.В. Материалы для медицины, клеточной и тканевой инженерии [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск, 2009.

3. Сергеева Н.С., Ахмедова С.А., Гольдберг М.А., Чиссов В.И., Смирнов В.В., Баринов С.М., Свиридова И.К., Кирсанова В.А. (2007) Композиционный материал на основе гидроксиапатита и карбоната кальция для заполнения костных дефектов при реконструктивно-пластических операциях. Патент (RU) № 02429885 C1.

4. Шишацкая Е.И., Камендов И.В., Старосветский С.И., Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Шагеев А.А., Шумилова А.А. Исследование остеопластических свойств резорбируемого поли-3-гидроксибутирата in vivo на моделях хронического остеомиелита // Врач аспирант. – 2013. – № 1 (56). – P. 127–132.

5. Шишацкая Е.И., Камендов И.В., Старосветский С.И., Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Шагеев А.А., Шумилова А.А. Исследование остеопластических свойств резорбируемого поли-3-гидроксибутирата in vivo на модели сегментарной // Креативная хирургия и онкология. – 2012. – № 4. – С. 48–52.

6. Шишацкая Е.И., Николаева Е.Д., Шумилова А.А., Шабанов А.В., Волова Т.Г. Культивирование мультипотентных мезенхимальных стромальных кле-ток костного мозга на носителях из резорбируемого Биопластотана // Клеточная трансплантология и тканевая инженерия. – 2013. – № 1. – С. 57–65.

7. Baino F. Biomaterials and implants for orbital floor repair // Acta Biomaterialia. – 2011. –№ 7. – P. 3248–3266.

8. Carlo E., Borges A. Comparison of in vivo properties of hydroxyapatite-polyhydroxybutyrate composites assessed for bone substitution // J. of Craniof. Surg. – 2009. – № 20. – P. 853–859.

9. Courtney D.J., Thomas S, Whitfield P.H. Isolated orbital blowout fractures: survey and review // Br. J. Oral. Maxillofac. Surg. – 2000. – № 38. – P. 496–503.

10. Gredes T., Gedrange T., Claudia Hinüber C., Gelinsky M., Kunert-Keil C. Histological and molecular-biological analyses of poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) patches for enhancement of bone regeneration. Annals of Anatomy – Anatomischer Anzeiger. Available online. – 2014.

11. Hughes C.W., Page K, Bibb R, Taylor J, Revington P. The custom-made titanium orbital floor prosthesis in reconstruction for orbital floor fractures // Br. J. Oral. Maxillofac. Surg. – 2003. – № 41. – P. 50–53.

12. Schlickewei W, Schlickewei C. The use of bone substitutes in the treatment of bone defects–the clinical view and history // J. Macromol. Symp. – 2007. – № 253. – P. 10–23.

13. Schon R, Metzger M.C., Zizelmann C, Weyer N, Schmelzeisen R. Individually preformed titanium mesh implants for true-to-orginal repair of orbital fractures // Int. J. Oral. Maxillofac. Surg. – 2006. – № 35. – P. 990–995.

14. Shishatskaya EI. Biocompatible and functional properties of a poly(3-hydroxybutyrate/hydroxyapatite hybrid composite // Bulletin of transplantation of artificial organs. – 2006. – № 3. – P. 34–38.

15. Shishatskaya E.I., Markelova N.M., Vinnik Y.S., Gavrilenko E.S., et al. Experimental formation of intestinal anastomosis using new absorbable suture material based on

linear polyester of 3-hydroxybutyric acid. Health and Education in the 21st century; Proceedings of the IX International Congress. – 2008.

16. Volova T.G., Sevastianov V.I., Shishatskaya E.I. Polyhydroxyalkanoates – biodegradable polymers for medicine. Platina Publishers. – Krasnoyarsk, 2006. – 288 p.

17. Volova T.G.; Shishatskaya E.I.; Mironov P.V.; Goreva A.V. Structure and physicochemical properties composite polyxydroxybyturate/wollastonite // Perspective materials. – 2009. – № 1. – P. 43–50.

References

1. Volova T.G., Sevastjanov V.I., Shishackaja E.I. Poligidroksialkanoaty (PGA) biorazrushaemye polimery dlja mediciny. Novosibirsk.: SO RAN, 2003. 260 p.

2. Volova T.G., Shishackaja E.I., Mironov P.V. Materialy dlja mediciny, kletochnoj i tkanevoj inzhenerii [Jelektronnyj resurs]: jelektron. ucheb. posobie. Jelektron. dan. (6 Mb). Krasnojarsk, 2009.

3. Sergeeva N.S., Ahmedova S.A., Goldberg M.A., Chissov V.I., Smirnov V.V., Barinov S.M., Sviridova I.K., Kirsanova V.A. (2007) Kompozicionnyj material na osnove gidroksiapatita i karbonata kalcija dlja zapolnenija kostnyh defektov pri rekonstruktivno-plasticheskih operacijah. Patent (RU) no. 02429885 C1.

4. Shishackaja E.I., Kamendov I.V., Starosvetskij S.I., Vinnik Ju.S., Markelova N.M., Shageev A.A., Shumilova A.A. Issledovanie osteoplasticheskih svojstv rezorbi-ruemogo poli-3-gidroksibutirata in vivo na modeljah hronicheskogo osteomielita // Vrach aspirant. 2013. no. 1 (56). pp. 127–132.

5. Shishackaja E.I., Kamendov I.V., Starosvetskij S.I., Vinnik Ju.S., Markelova N.M., Shageev A.A., Shumilova A.A. Issledovanie osteoplasticheskih svojstv rezorbiruemogo poli-3-gidroksibutirata in vivo na modeli segmentarnoj // Kreativnaja hirurgija i onkologija. 2012. no. 4. pp. 48–52.

6. Shishackaja E.I., Nikolaeva E.D., Shumilova A.A., Shabanov A.V., Volova T.G. Kultivirovanie multipotentnyh mezenhimalnyh stromalnyh kle-tok kostnogo mozga na nositeljah iz rezorbiruemogo Bioplastotana // Kletochnaja transplantologija i tkanevaja inzhenerija. 2013. no. 1. pp. 57–65.

7. Baino F. Biomaterials and implants for orbital floor repair // Acta Biomaterialia. 2011. no. 7. pp. 3248–3266.

8. Carlo E., Borges A. Comparison of in vivo properties of hydroxyapatite-polyhydroxybutyrate composites assessed for bone substitution // J. of Craniof. Surg. 2009. no. 20. pp. 853–859.

9. Courtney D.J., Thomas S, Whitfield P.H. Isolated orbital blowout fractures: survey and review // Br. J. Oral. Maxillofac. Surg. 2000. no. 38. pp. 496–503.

10. Gredes T., Gedrange T., Claudia Hinüber S., Gelinsky M., Kunert-Keil S. Histological and molecular-biological analyses of poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) patches for enhancement of bone regeneration. Annals of Anatomy Anatomischer Anzeiger. Available online. 2014.

11. Hughes C.W., Page K, Bibb R, Taylor J, Revington P. The custom-made titanium orbital floor prosthesis in reconstruction for orbital floor fractures // Br. J. Oral. Maxillofac. Surg. 2003. no. 41. pp. 50–53.

12. Schlickewei W, Schlickewei C. The use of bone substitutes in the treatment of bone defects–the clinical view and history // J. Macromol. Symp. 2007. no. 253. pp. 10–23.

13. Schon R, Metzger M.C., Zizelmann C, Weyer N, Schmelzeisen R. Individually preformed titanium mesh implants for true-to-orginal repair of orbital fractures // Int. J. Oral. Maxillofac. Surg. 2006. no. 35. pp. 990–995.

14. Shishatskaya EI. Biocompatible and functional properties of a poly(3-hydroxybutyrate/hydroxyapatite hybrid composite // Bulletin of transplantation of artificial organs. 2006. no. 3. pp. 34–38.

15. Shishatskaya E.I., Markelova N.M., Vinnik Y.S., Gavrilenko E.S., et al. Experimental formation of intestinal anastomosis using new absorbable suture material based on linear polyester of 3-hydroxybutyric acid. Health and Education in the 21st century; Proceedings of the IX International Congress. 2008.

16. Volova T.G., Sevastianov V.I., Shishatskaya E.I. Polyhydroxyalkanoates biodegradable polymers for medicine. Platina Publishers. Krasnoyarsk, 2006. 288 p.

17. Volova T.G.; Shishatskaya E.I.; Mironov P.V.; Goreva A.V. Structure and physicochemical properties composite polyxydroxybyturate/wollastonite // Perspective materials. 2009. no. 1. pp. 43–50.

Рецензенты:

Черданцев Д.В., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой и клиникой хирургических болезней № 2 им. проф. А.М. Дыхно с курсом эндоскопии и эндохирургии ПО, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск;

Горбунов Н.С., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оперативной хирругии и топографической анатомии, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск.

УДК 621.43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

[1]Злобин В.Н., [2]Васильев И.П., [1,3]Зеляковский Д.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград;
[2]Луганский университет им. В. Даля, Луганск;
[3]ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, e-mail: z.intersvet@yandex.ru

Принципиальное отличие ионной имплантации от этих способов заключается в том, что ионы наносимого металла внедряются в кристаллическую решетку поверхности без границы раздела, что исключает скалывание этого слоя. В статье рассмотрено применение ионной имплантации для улучшения свойств поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания. Описана установка ионной имплантации и принцип ее работы. Приведены примеры использования способа при нанесении покрытий на прецизионные детали дизелей и приготовлении катализаторов для нейтрализаторов двигателей. Способ связан с нетепловым характером легирования, относится низкотемпературное осуществление процесса, возможность введения любой примеси в разные твердые тела, точный контроль глубины и профиля распределения примеси, легирование через диэлектрические и тонкие металлические покрытия, возможность полной автоматизации процесса.

Ключевые слова: ионная имплантация, источник ионов, распылитель, плунжерная пара, поршень, катализатор

USE OF IONIC IMPLANTATION IN THE ENGINE STRUCTURE

[1]Zlobin V.N., [2]Vasilev I.P., [1,3]Zelyakovskiy D.V.

[1]FGBOU VPO «The Volgograd state architectural and construction university», Volgograd;
[2]Lugansk university of V. Dahl, Lugansk;
[3]FGBOU VPO «The Volgograd state agricultural university», Volgograd, e-mail: z.intersvet@yandex.ru

Fundamental difference of ionic implantation from these ways will be that ions of the applied metal take root into a crystal lattice of a surface without limit of the section that excludes a skalyvaniye of this layer. In article application of ionic implantation for improvement of properties of surfaces of details of internal combustion engines is considered. Installation of ionic implantation and the principle of its work is described. Examples of use of a way when drawing coverings on precision details of diesels and preparation of catalysts for converters of engines are given. The way is connected with not thermal character of an alloying, low-temperature implementation of process, possibility of introduction of any impurity to different solid bodies, exact control of depth and a profile of distribution of impurity, an alloying through dielectric and thin metal coverings, possibility of full automation of process belongs.

Keywords: ionic implantation, source of ions, spray, plunger couple, piston, catalyst

В настоящее время большое внимание уделяется высокотехнологичным способам нанесения различных покрытий с заданными свойствами. Существующие способы, такие как плазменный, детонационный, обладают следующим недостатком. Эти покрытия имеют определенную толщину, что при частых циклах изменения температур приводит к их скалыванию.

Принципиальное отличие ионной имплантации от этих способов заключается в том, что ионы наносимого металла внедряются в кристаллическую решетку поверхности без границы раздела, что исключает скалывание этого слоя [2, 6].

Кроме этого, к преимуществам этого способа, который в основном связан с нетепловым характером легирования, относится низкотемпературное осуществление процесса, возможность введения любой примеси в разные твердые тела, точный контроль глубины и профиля распределения примеси, легирование через диэлектрические и тонкие металлические покрытия, возможность полной автоматизации процесса.

Традиционная установка ионной имплантации содержит: источник ионов, систему вытягивания и ускорения ионов, анализатор ионов по массе, систему фокусировки и сканирования, приемное устройство.

Работа установки происходит следующим образом: ионы вытягиваются из источника ионов, поступают в систему ускорения, где разгоняются сильным электростатическим полем. Для удаления многозарядных и других нежелательных по каким-либо причинам ионов служит электромагнитный сепаратор, в котором ионы разделяются по массам.

В предлагаемой установке отсутствуют анализатор ионов по массе и система фокусировки и сканирования, что позволяет повысить возможности имплантации

путем использования многозарядных ионов, что увеличивает проникновение ионов по глубине, а при нанесении покрытий на неметаллические поверхности используется слой нейтралей металлов для предварительной металлизации таких поверхностей.

Максимальный диаметр пучка ионов на обрабатываемой поверхности составляет 500 мм при плотности тока 5–20 мкА/см^2.

Фотография установки ионной имплантации представлена на рис. 1, схема установки на рис. 2.

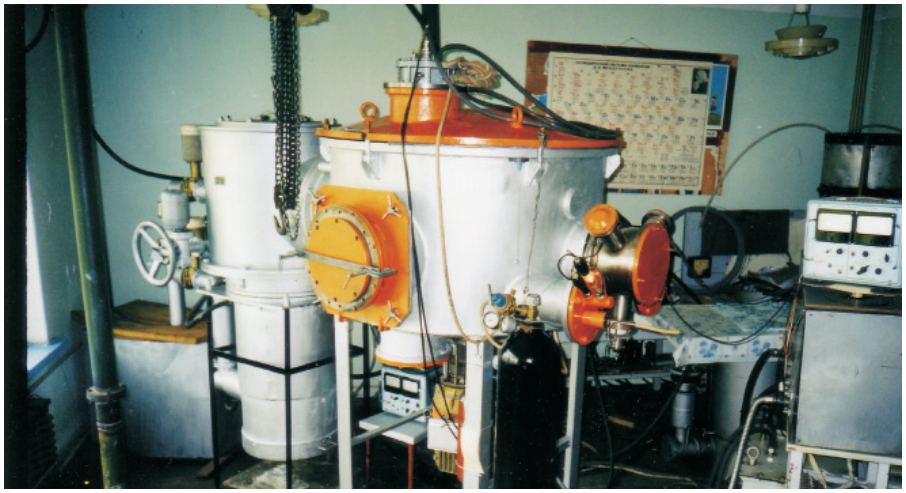


Рис. 1. Установка ионной имплантации

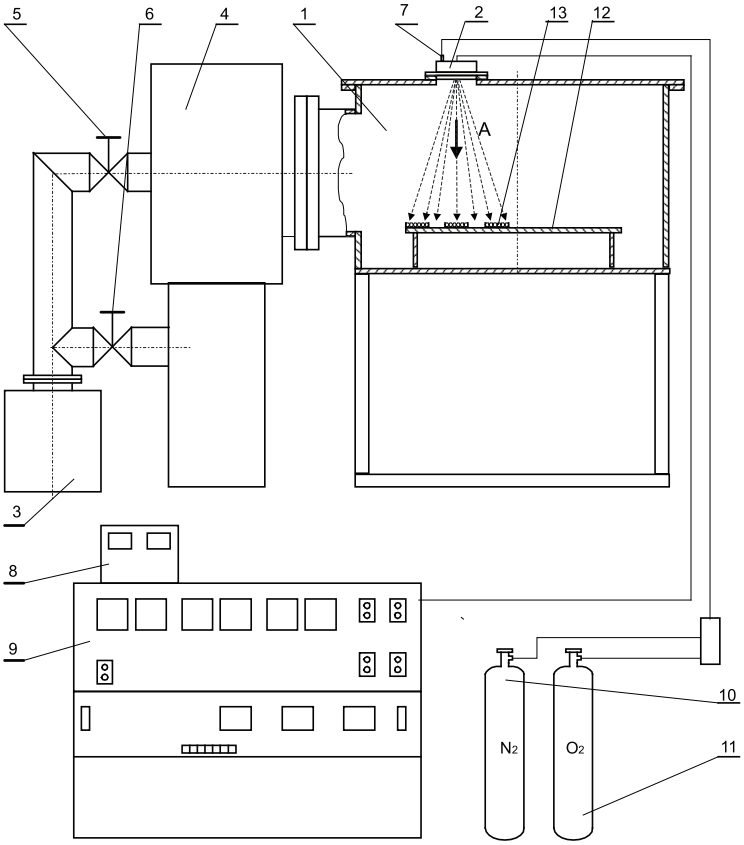


Рис. 2. Схема установки ионной имплантации:
1 – вакуумная камера; 2 – источник ионов; 3 – форвакуумный насос; 4 – высоковакуумный агрегат; 5 – вентиль предварительной откачки; 6 – вентиль основной откачки; 7 – натекатель; 8 – вакуумметр; 9 – блок питания и управления; 10 – баллон с азотом; 11 – баллон с кислородом; 12 – стол; 13 – обрабатываемая деталь

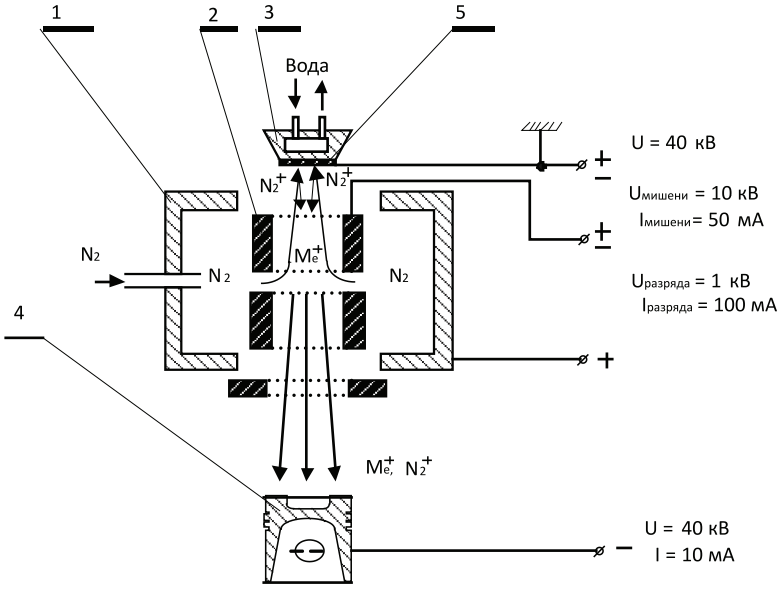


Рис. 3. Схема источника ионов:
1 – анод газового кольцевого разряда; 2 – катод газового разряда (он же анод разряда мишени);
3 – катод разряда мишени (он же анод в паре мишень – деталь);
4 – катод в паре мишень – деталь; 5 – сменная часть мишени

Схема источника ионов представлена на рис. 3 [1, 3].

Были отработаны технологии нанесения упрочняющих покрытий на прецизионные поверхности топливной аппаратуры дизелей. Образцы покрытий представлены на рис. 4 а, б.

а б

Рис. 4. а – распылители завода ЯЗДА (г. Ярославль) (справа после обработки ионной имплантацией); б – плунжерные пары топливного насоса дизеля (справа после обработки ионной имплантацией)

Отрабатывалась технология нанесения каталитических покрытий на носители в виде насыпного керамического носителя, металлического носителя в виде прессованного металловолокна и листового носителя с использованием в качестве подложки γ-Al_2O_3 [7, 9].

На рис. 5 представлен носитель ШН-2 с покрытием платиной.

Рис. 5. Каталитический носитель ШН-2 с покрытием платиной

Также была отработана технология нанесения катализаторов на поверхности деталей камеры сгорания [4, 8]. Катализатор

наносился на поршни двигателя ЗИЛ-6451 (ОАО «Завод им. ИА. Лихачева», г. Москва) (рис. 6).

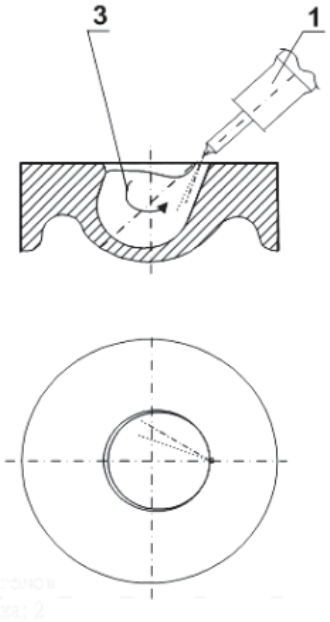


Рис. 6. Платиновое каталитическое покрытие на поршнях дизеля ЗИЛ-6451

При испытаниях по 13-ступенчатому ездовому циклу было зафиксировано снижение выбросов NO_x на 13%, CH на 50%, CO на 12%.

Для наиболее эффективного использования каталитического воздействия необходимо использовать камеры сгорания специальной формы, например представленную на рис. 7.

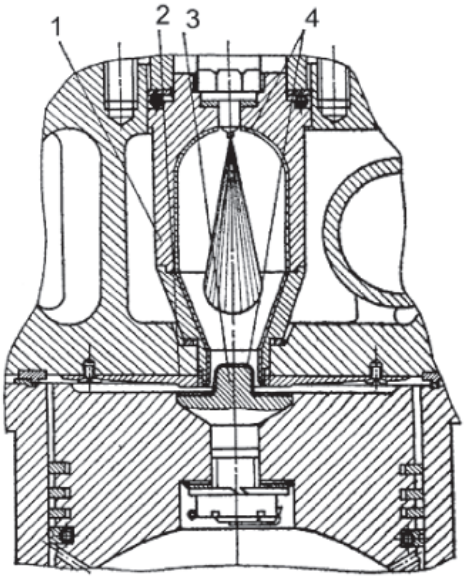


Рис. 7. Камера сгорания дизеля с переменной геометрией соединительного канала: 1 – предкамера; 2 – накладка; 3 – выступ; 4 – каталитическое покрытие

В этой камере сгорания 75% сгорающего топлива подвергается контакту с поверхностью выступа и, соответственно, каталитической обработки.

На рис. 8 представлен выступ камеры сгорания с каталитическим покрытием.

Рис. 8. Выступ камеры сгорания дизеля с переменной геометрией соединительного канала после ионной имплантации

Было разработано устройство для нанесения каталитических покрытий способом ионной имплантации [5].

Из приведенного следует, что одним из перспективных способов улучшения трибологических и каталитических свойств деталей двигателей внутреннего сгорания является ионная имплантация. При этом открывается широкий спектр возможного использования этого способа на трущихся деталях двигателей (прецизионных деталях топливной аппаратуры, распредвалах и т.д.) и на каталитических носителях, как керамических, так и металлических. Изменением режима обработки и наносимого покрытия возможно получить покрытие с заданными свойствами.

Список литературы

1. Злобин В.Н. Источник ионов для технологических установок / В.Н. Злобин, И.П. Васильев, В.В. Лукин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2005. – № 4 (14). – С. 45–48.

2. Злобин В.Н. Нанотехнология для производства нейтрализаторов] / В.Н. Злобин, И.П. Васильев, В.М. Фокин // Строй МАСТЕР (Россия, Волгоград). – 2006. – № 10 (54). – С. 59.

3. Злобин В.Н. Особенности работы источника ионов установки ионной имплантации / В.Н. Злобин, А.В. Зотов, В.И. Васильев // Вісн. Східноукр. нац. ун–ту імені Володимира Даля. – 2002. – № 11 (57). – С. 137–142.

4. Клюс О.В. Использование метода ионной имплантации при нанесении каталитических покрытий на детали двигателей внутреннего сгорания / О.В. Клюс, И.П. Васильев, П.Н. Гавриленко, Ю.А. Черкасов, В.Н. Злобин // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: сборник научных трудов Междунар. научно-технической конф. БАЛТЕХМАШ-2002. – Калининград (Россия), 2002. – С. 259–261.

5. Устройство для нанесения покрытий в вакууме / И.П. Васильев, В.Н. Злобин, П.Н. Гавриленко, Т.Х. Аглемерьян (СССР); Ворошиловградский машиностроительный институт и РФ ДХТИ (СССР). – № 4346878/24–21; Заявлено 22.12.87; Зарег. 15.07.90.

6. Хирвонен Дж.К. Ионная имплантация / под ред. Дж.К. Хирвонена; пер с анг. – М.: Металлургия, 1985. – 392 с.

7. Bannikov M. G. Investigation of Properties and Structure of Surfaces Processed by Ion Implantation Technique / M.G. Bannikov, V.M. Gromenko, A.J Chattha., I.P. Vasilev // Proceedings of First International Conference on Frontiers of Advanced Engineering Materials (FAEM – 2004). Lahore (Pakistan), 2004. – P. 270–273.

8. Klyus O. Zastosowanie implantacji jonowej dla nanesiena powiok katalitycznych na elementy komory spalania silnikyw wysokoprkïnych / O. Klyus, P. Gavrilenko, S. Cherkasov, I. Vasilev, V. Zlobin // Alternative feeding of diesel engines problems of maintenance of power units: 5th International scientific conference on combustion engines KONSSPAL' 2002. – Tadeusz Koњciuszko Military Academy, Wrociaw (Poland). 14–15 May 2002. – P. 133–136.

9. Zlobin V.N. Potential of use of ion implantation as a means of catalyst manufacturing / V.N. Zlobin, M.G. Bannikov, I.P. Vasilev, J.A. Cherkasov, P.N. Gawrilenko // Automobile Engineering. – 2002. – Vol. 216. – № D5. – P. 385–390.

References

1. Zlobin V.N. Istochnik ionov dlja tehnologicheskih ustanovok / V.N. Zlobin, I.P. Va-silev, V.V. Lukin // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitelnogo universiteta. 2005. no. 4 (14). pp. 45–48.

2. Zlobin V.N. Nanotehnologija dlja proizvodstva nejtralizatorov] / V.N. Zlobin, I.P. Vasilev, V.M. Fokin // Stroj MASTER (Rossija, Volgograd). 2006. no. 10 (54). pp. 59.

3. Zlobin V.N. Osobennosti raboty istochnika ionov ustanovki ionnoj implantacii / V.N. Zlobin, A.V. Zotov, V.I. Vasilev // Visn. Shidnoukr. nac. un–tu imeni Volodimira Da-lja. 2002. no. 11 (57). pp. 137–142.

4. Kljus O.V. Ispolzovanie metoda ionnoj implantacii pri nanesenii kataliticheskih pokrytij na detali dvigatelej vnutrennego sgoranija / O.V. Kljus, I.P. Vasilev, P.N. Gavrilenko, Ju.A. Cherkasov, V.N. Zlobin // Progressivnye tehnologii, mashiny i mehanizmy v mashinostroenii: sbornik nauchnyh trudov Mezhdunar. nauchno-tehnicheskoj konf. BALTEHMASh-2002. Kaliningrad (Rossija), 2002. pp. 259–261.

5. Ustrojstvo dlja nanesenija pokrytij v vakuume / I.P. Vasilev, V.N. Zlobin, P.N. Gavrilenko, T.H. Aglemerjan (SSSR); Voroshilovgradskij mashinostroitelnyj institut i RF DHTI (SSSR). no. 4346878/24–21; Zajavleno 22.12.87; Zareg. 15.07.90.

6. Hirvonen Dzh.K. Ionnaja implantacija / pod red. Dzh.K. Hirvonena; per s ang. M.: Metallurgija, 1985. 392 p.

7. Bannikov M. G. Investigation of Properties and Structure of Surfaces Processed by Ion Im-plantation Technique / M.G. Bannikov, V.M. Gromenko, A.J Chattha., I.P. Vasilev // Proceedings of First International Conference on Frontiers of Advanced Engineering Materials (FAEM 2004). Lahore (Pakistan), 2004. pp. 270–273.

8. Klyus O. Zastosowanie implantacji jonowej dla nanesiena powiok katalitycznych na ele-menty komory spalania silnikuw wysokoprkïnych / O. Klyus, P. Gavrilenko, S. Cherkasov, I. Va-silev, V. Zlobin // Alternative feeding of diesel engines problems of maintenance of power units: 5th International scientific conference on combustion engines KONSSPAL 2002. Tadeusz Koњciuszko Military Academy, Wrociaw (Poland). 14–15 May 2002. pp. 133–136.

9. Zlobin V.N. Potential of use of ion implantation as a means of catalyst manufacturing / V.N. Zlobin, M.G. Bannikov, I.P. Vasilev, J.A. Cherkasov, P.N. Gawrilenko // Automobile Engineering. 2002. Vol. 216. no. D5. pp. 385–390.

Рецензенты:

Рябцев В.Г., д.т.н., профессор кафедры «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград;

Рогачев А.Ф., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.

УДК 621.313.8

УСТРОЙСТВО СБОРА ЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Петров Р.В., Колесников Н.А., Бичурин М.И.

ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», Великий Новгород, e-mail: Mirza.Bichurin@novsu.ru

В статье рассматривается конструкция устройства сбора энергии с применением магнитоэлектрических элементов. В устройстве использованы восемь магнитоэлектрических элементов, изготовленных из пьезоэлектрика ЦТС-19 и магнитострикционного сплава Метглас. Размер одного элемента 40×10×0,5 мм. Общие габаритные размеры устройства составили: диаметр 12 см, толщина 2,4 см. Устройство состоит из двух дисков. На одном, неподвижном, закреплены магнитоэлектрические элементы, на втором, вращающемся, закреплены магниты. При вращении диска с магнитами на диске с магнитоэлектрическими элементами создаётся переменное магнитное поле. На частоте переменного магнитного поля около 38 Гц на выходе устройство выдавало постоянное напряжение около 1,12 В и ток 3,8 мкА. Переменное напряжение до выпрямителя составляло около 1,7 В. Общая генерируемая мощность составила 4,28 мкВт. Разработанное устройство может быть применено в конструкциях ветроэлектрогенераторных установок, гидрогенераторах, турбогенераторах и другой электрогенерирующей аппаратуре.

Ключевые слова: сбор энергии, магнитоэлектрический эффект, магнитоэлектрический элемент

ENERGY HARVESTING DEVICE BASED ON MAGNETOELECTRIC ELEMENTS

Petrov R.V., Kolesnikov N.A., Bichurin M.I.

Novgorod State University, Veliky Novgorod, e-mail: Mirza.Bichurin@novsu.ru

The article is devoted to research the design of the energy-harvesting device using the magnetoelectric elements. Eight ME elements based on the piezoelectric material PZT and magnetostrictive alloy Metglas were used in the device. Size of one element is of 40×10×0,5 mm. General dimensions of the device as follows: diameter of 12 cm, thickness of 2,4 cm. The device consists of two discs. ME elements were installed on the static disk and the magnets were fixed on the second rotating disk. AC magnetic field is created on the disk with ME elements by rotation of the disc with magnets. The device produces the output DC voltage of 1,12 V and a current of 3,8 uA at the frequency of AC magnetic field of 38 Hz. AC voltage before the rectifier was of 1,7 V. Total generator power amounted to 4,28 uW. The developed device can be used in the design of wind-electric generating plants, hydro generators, turbo generators and other power generating equipment.

Keywords: energy harvesting, magnetoelectric effect, magnetoelectric element

В современном мире всё больше внимания уделяется созданию возобновляемых источников энергии. Устройства сбора энергии, если не решают эту задачу, то по крайней мере способствуют облегчению энергетических режимов. Исследование посвящено новому устройству сбора энергии с использованием магнитоэлектрического (МЭ) эффекта. Такое устройство может быть применено, например, в ветроэлектрогенераторных установках, гидрогенераторах, турбогенераторах и аналогичного применения электрооборудовании, предназначенном для преобразования механической энергии первичных двигателей в электрическую.

В одной из первых статей по использованию МЭ эффекта в устройствах для сбора энергии [6] дано описание общих принципов работы такого устройства. С тех пор этой теме посвящено большое количество работ, описывающих всевозможные устройства [8]. Основу этих устройств составляют МЭ элементы, изготовленные из специально подобранных материалов [1], которые действуют благодаря МЭ эффекту [3]. Конструктивно они выполнены в основном на эффекте колебательных процессов. Известно, что колебания или вибрация способствуют интенсивному выделению энергии в МЭ элементе. Энергию затем преобразуют к нужному уровню и аккумулируют. Энергия, вырабатываемая МЭ элементом при воздействии вибрации, в общем случае складывается из двух составляющих – из энергии, преобразованной за счёт пьезоэффекта, и энергии, преобразованной благодаря магнитоэлектрическому эффекту [4, 9].

В отличие от прочих устройств сбора энергии предлагаемое обладает рядом преимуществ. Например, по сравнению с панелями на солнечных элементах устройство имеет более компактный размер и не требует солнца и большой площади поверхности для работы. Для электромагнитных генераторов характерен большой вес и материалоёмкость, в отличие от них МЭ элементы имеют меньший вес и не используют в сво-

ём составе дорогостоящую медь для обмоток. Если используется резонансный режим работы МЭ элементов, то это значительно, на несколько порядков, увеличивает выходную мощность.

МЭ элементы

МЭ элементы могут быть выполнены из разных материалов, в нашем случае мы используем магнитострикционно-пьезоэлектрический слоистый материал, который состоит из пьезоэлектрика ЦТС-19 и магнитострикционного материала метглас [2]. На пьезоэлектрик с двух сторон приклеены пластины метгласа, который одновременно служит в качестве электродов, с которых снимается напряжение. Размер готового МЭ элемента 40×10×0,5 мм.

Конструкция устройства

Конструкция устройства построена на использовании МЭ элементов. Для эффективной работы устройства необходимо правильно расположить МЭ элемент в постоянном и переменном магнитных полях. Одним из конструктивно оптимальных вариантов является поперечное направление намагничивания МЭ элемента, когда постоянное и переменное магнитные поля направлены под углом 90° к направлению поляризации пьезоэлектрика. При конструировании устройства необходимо учитывать, что отклонения в направлении магнитных полей могут существенно снизить МЭ эффект и уменьшить значение выходного напряжения.

Расположение МЭ элементов может быть произвольным, но для того чтобы получить максимально возможный эффект, лучше располагать элементы согласно осям симметрии с максимальной плотностью упаковки. На рис. 1 один из вариантов такого расположения, изображен продольный и поперечный разрез устройства: слева конструкция неподвижного диска с МЭ элементами, справа устройство в разрезе. Устройство состоит из неподвижного диска 1, в плоскости которого установлены МЭ элементы 2 и магниты для подмагничивания 3; подвижного диска 4 с установленными на нём магнитами 5, который закреплён на оси 6, электрический потенциал снимается с электродов 7.

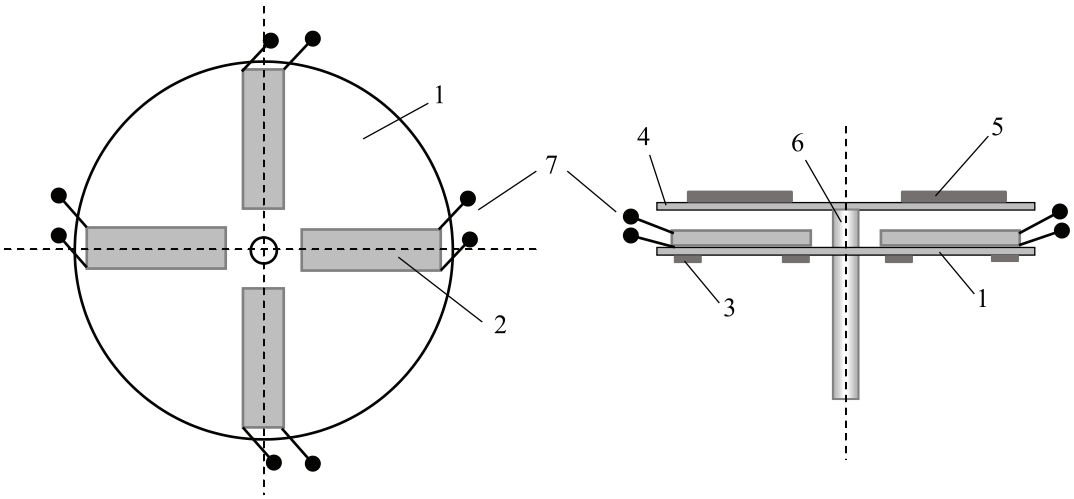


Рис. 1. Конструкция устройства сбора энергии с использованием МЭ элементов

Устройство работает следующим образом. На ось 6 передаётся вращающий момент от внешнего источника движения. Ось вращает закреплённый на ней диск 4 с установленными магнитами 5. Магниты 5 предназначены для создания переменного магнитного поля, наводимого в МЭ элементах 2 при их вращении. На неподвижный диск 1 установлены постоянные подмагничивающие магниты 3 для создания необходимого магнитного поля смещения в МЭ элементе. При вращении диска 4 с магнитами 5 переменное магнитное поле индуцирует переменный электрический потенциал на обкладках МЭ элемента благодаря действию МЭ эффекта: переменное магнитное поле воздействует на Метглас, который в результате магнитострикционного эффекта изменяет свои геометрические размеры, что приводит к давлению на пьезоэлектрическую фазу МЭ элемента, а это в свою очередь индуцирует появление электрического потенциала на обкладках МЭ элемента из-за действия пьезоэлектрического эффекта. МЭ элементы могут быть соединены между

собой последовательно, параллельно, либо используются раздельно. Если для изготовления МЭ элементов используется поляризованный пьезоэлектрик, то необходимо учитывать полярность подключения элементов. И, наконец, электрический потенциал снимается с электродов 7 устройства. Очевидно, что скорость вращения диска 4 при постоянной частоте тока в МЭ элементах статора сохраняется постоянной и не зависит от нагрузки на валу, т.е. режим работы устройства синхронный. Рассматриваемое устройство работает как синхронный генератор.

Макет устройства

Конструкция, показанная на рис. 1, была реализована в макете. В макете устройства МЭ элементы размещены и закреплены симметрично на CD диске. Макет устройства изображён на рис. 2. Постоянное подмагничивающее поле, действующее на МЭ элементы, создано магнитами, закреплёнными на неподвижном диске – статоре. Подвижный диск – ротор, вращается от внешнего источника движения – небольшого электрического двигателя. Ротор выполнен в форме диска, на котором закреплены постоянные магниты. На роторе крепились два ниобиевых магнита с размером 24×12×4 мм. При вращении ротора постоянные магниты создают переменное магнитное поле в зоне расположения МЭ элементов, что приводит к возникновению в них электрического потенциала благодаря МЭ эффекту. Энергия, полученная от МЭ элементов, выпрямляется, а затем запасается. Общие габаритные размеры устройства: диаметр 12 см, толщина 2,4 см. В составе устройства присутствовало 8 МЭ элементов размером 40×10×0,5 мм состава Метглас на ЦТС. Все восемь элементов были объединены в единую цепь через выпрямительные мосты.

Измерительный стенд

В состав стенда вошли МЭ устройство сбора энергии, выпрямительный блок из диодных мостов, осциллограф HMO722, мультиметр HM8112-3, блок питания HY3002, коллекторный электрический двигатель, скорость вращения которого управляется напряжением от блока питания. Для измерения переменных и постоянных магнитных полей использовался гауссметр DX-180. С помощью блока питания регулировалась частота вращения электродвигателя. Электродвигатель вращал подвижный диск устройства. С помощью осциллографа проводились измерения потенциала на МЭ элементах. Мультиметр обеспечивал точное измерение тока и напряжения как переменного, так и постоянного выпрямленного сигнала.

Измерение характеристик МЭ элемента

На рис. 3 приведены характеристики выходного напряжения и тока МЭ элемента в зависимости от частоты при подмагничивающем поле около 40 Э. Таким образом, оптимальный режим работы, при котором МЭ коэффициент достигает максимума 1,4 В/(см·Э), это около 50 Гц при низкочастотном режиме и 2,08 В/(см·Э) около 41 кГц в режиме резонанса. При подмагничивающем поле 65 Э и переменном магнитном поле 1 Э на частоте 38 Гц ток достигал значения около 0,01 мкА, на частоте резонанса около 41 кГц ток достигал своего максимума около 10 мкА. Для реальных конструкций подобных устройств достичь частот вращения килогерцового диапазона невозможно. Поэтому стремятся либо увеличить частоту до оптимальной для работы МЭ элемента, либо снизить резонансную частоту МЭ элемента до минимально возможной. Снижение резонансной частоты возможно с увеличением длины МЭ элемента или возбуждением в нём колебаний на частоте изгибного резонанса, частота которых может быть ниже 1 кГц.

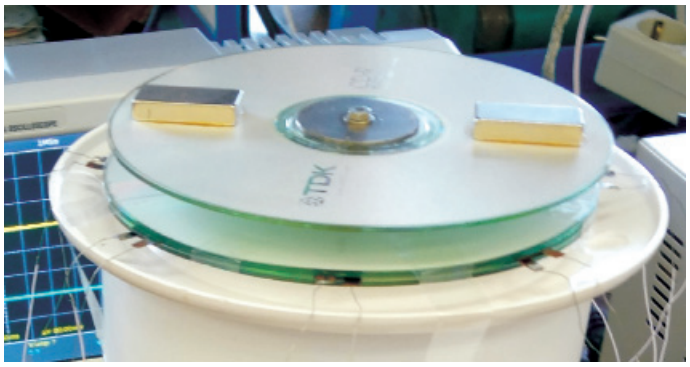


Рис. 2. Макет устройства сбора энергии с использованием МЭ элементов

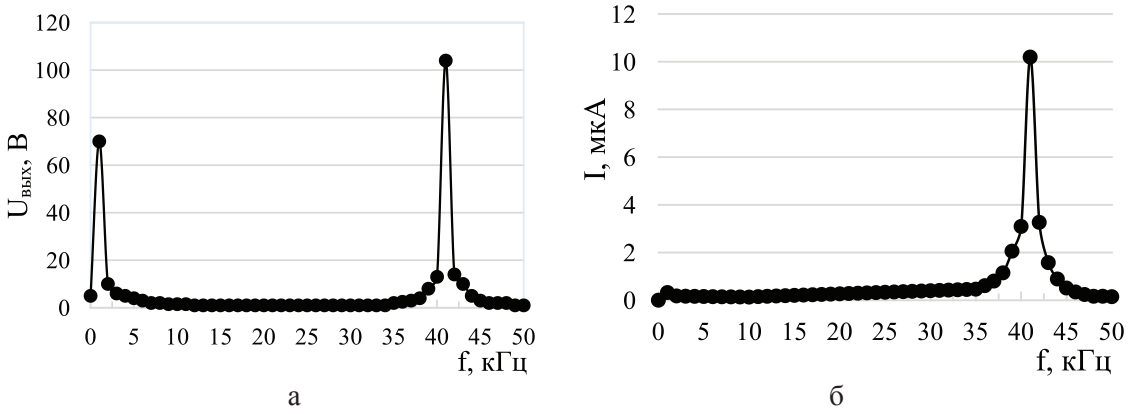


Рис. 3. Характеристика МЭ элемента в зависимости от частоты: а – выходное напряжение, б – выходной ток

Также отметим, что МЭ коэффициент сильно зависит от наличия постоянного магнитного поля, и оптимальным в данном случае является поле величиной около 65 Э, при этом МЭ коэффициент достигает значения 1,32 В/(см·Э).

Значение выходной мощности определяется как произведение напряжения на ток. На рис. 4 показана характеристика выходного значения тока МЭ элемента на частоте 38 Гц при подмагничивающем поле 65 Э в диапазоне переменных магнитных полей от 0 до 20 Э. Максимум мощности при подмагничивающем поле 65 Э и переменном магнитном поле 1 Э составил на частоте резонанса около 0,55 нВт. В то же время в области резонанса при тех же условиях значение выходной мощности составило около 0,55 мкВт. Если величину переменного магнитного поля увеличить до 20 Э, то выходная мощность на частоте 38 Гц составит 0,04 мкВт.

В конструкции макета устройства использовался нерезонансный низкочастотный МЭ эффект. Резонансный эффект обладает несомненным преимуществом по выходной мощности, и его конструктивная реализация планируется в будущем. Для применения резонансного эффекта необходимо уменьшить резонансную частоту, что возможно, если использовать изгибные колебания [7] или изменить геометрические размеры МЭ элементов. Тем не менее исследование конструкции устройства с использованием низкочастотного МЭ эффекта представляет значительный интерес для проектирования устройств сбора энергии.

Измерение характеристик генератора

В макете устройства было использовано восемь МЭ элементов, соединённых по два элемента последовательно в четыре группы. Элементы были сгруппированы по два для увеличения выходного напряжения. При соединении МЭ элементов попарно необходимо учитывать их поляризацию. Таким образом, полученные четыре группы элементов далее соединялись с диодными

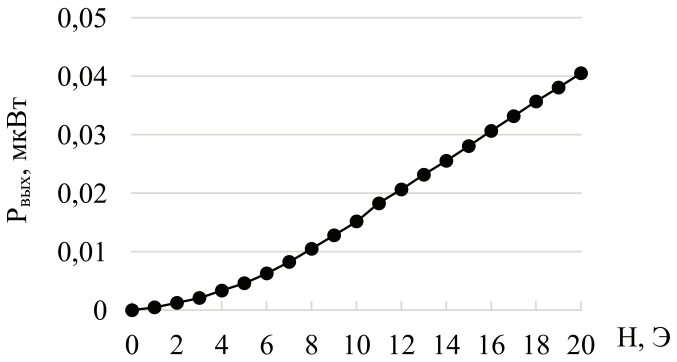


Рис. 4. Характеристика выходной мощности МЭ элемента в зависимости от амплитуды переменного магнитного поля

мостами. Затем выпрямленное напряжение объединялось и проводились измерения выходных характеристик устройства. При частоте переменного магнитного поля около 38 Гц на выходе устройства наблюдалось постоянное напряжение около 1,12 В и ток 3,8 мкА. Переменное напряжение до выпрямителя составляло около 1,7 В. Общая генерируемая мощность составила 4,28 мкВт. Режим работы устройства нерезонансный. На рис. 5 показана осциллограмма на выходе устройства.

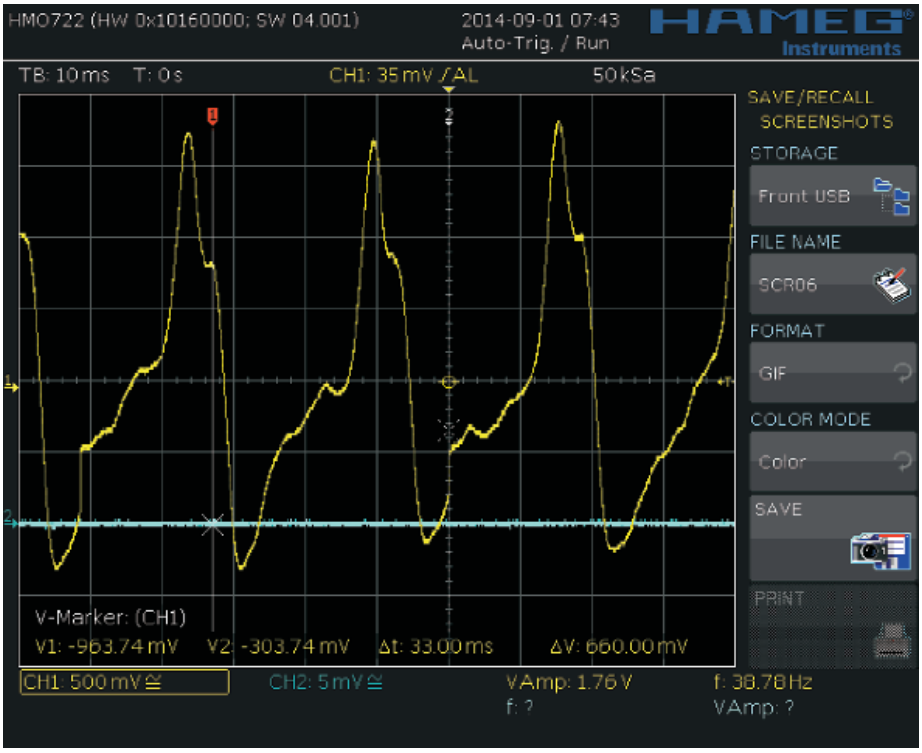


Рис. 5. Осциллограмма выходного напряжения МЭ устройства сбора энергии

По известному МЭ коэффициенту для материала, определённому экспериментально либо теоретически, можно вычислить и выходные напряжения для МЭ элементов: $U = \alpha_{E31} \cdot H_1 \cdot d$, где d – это толщина МЭ элемента [5].

Заключение

В работе приведены экспериментальные данные по применению МЭ эффекта для разработки устройства сбора энергии с применением магнитоэлектрических элементов. Предлагаемая конструкция может служить в качестве устройства сбора энергии. В устройстве в качестве источника энергии использованы МЭ элементы. Макет устройства в составе восьми МЭ элементов с размерами одного элемента 40×10×0,5 мм на частоте переменного магнитного поля около 38 Гц на выходе устройства вырабатывал постоянное напряжение около 1,12 В и ток 3,8 мкА. Переменное напряжение до выпрямителя составляло около 1,7 В. Общая генерируемая мощность составила 4,28 мкВт. Разработанное устройство может быть применено в конструкциях ветро-электрогенераторных установок, гидрогенераторах, турбогенераторах и др. электрогенерирующей аппаратуре.

Работа выполнена в рамках реализации гранта Российского научного фонда № 15-19-10036.

Список литературы

1. Бичурин М.И. и др. Магнитоэлектрические материалы. – М.: Академия естествознания, 2006. – 296 с.

2. Бичурин М.И., Петров Р.В., Соловьев И.Н., Соловьев А.Н. Исследование магнитоэлектрических сенсоров на основе пьезокерамики ЦТС и Метгласа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1; URL: www.science-education.ru/101-5367.

3. М.И. Бичурин, В.М. Петров. Магнитоэлектрический эффект в магнитострикционно-пьезоэлектрических мультиферроиках // Физика низких температур. – 15/06/2010. – Т. 36, № 6. – С. 680–687.

4. Петров Р.В., Иванов Д.Н. Система сбора энергии с магнитоэлектрическим преобразователем // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Техн. науки. – 2010. – № 55. – С. 42–44.

5. Bichurin M.I., Petrov V.M., and Priya S. Magnetoelectric Multiferroic Composites // In: Ferroelectrics – Physical Effects // Ed. Mickaël Lallart. – InTech, 2011. – P. 277–302.

6. Bichurin M.I., Petrov V.M., Dong S., Cui X., Zhai J., Li J., Viehland D., Priya S. Dual Magnetic Field and Mechanical Vibrations Energy Harvesting System // Engineered Multiferroics – Magnetoelectric Interactions, Sensors and Devices, (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1161E, Warrendale, PA, 2009).

7. Petrov V.M., Bichurin M.I., Srinivasan G., Laletin V.M., Petrov R.V. Bending Modes and Magnetoelectric Effects in Asymmetric Ferromagnetic-Ferroelectric Structure // Solid State Phenomena. – 2012. – Vol. 190. – P. 281–284.

8. Shashank Priya, Jungho Ryu, Chee-Sung Park, Josiah Oliver, Jong-Jin Choi and Dong-Soo Park. Piezoelectric and Magnetoelectric Thick Films for Fabricating Power Sources in Wireless Sensor Nodes // Sensors. – 2009. – № 9. – P. 6362–6384; doi:10.3390/s90806362.

9. Bedekar V., Bichurin M., Solovjev I. and Priya S. Multimodal Energy Harvesting System // Proc. SPIE 8035, Energy Harvesting and Storage: Materials, Devices, and Applications II, 80350T (May 17, 2011); doi:10.1117/12.884747.

References

1. Bichurin M.I. et al. Magnitoelektricheskie materialy. *M.: Akademia estestvoznania*, 2006. 296 p.

2. Bichurin M.I., Petrov R.V., Solovjev I.N., Soloviov A.N. Issledovanie magnitoelektricheskih sensorov na osnove piezokeramiki CTS i Metglasa. *Sovremennye problem nauki i obrazovanija*. 2012. no. 1; URL: www.science-education.ru/101-5367.

3. Bichurin M.I., Petrov V.M. Magnitoelektricheskii effect v magnitostrikcionno-piezoelektricheskih multiferroikah. *Fizika nizkih temperatur*. 15/06/2010. T. 36, no. 6. p. 680–687.

4. Petrov R.V., Ivanov D.N. Sistema sbora energii c magnitoelektricheskim preobrazovatelem. *Vestnik NovSU. Ser.: Tech. nauki*. 2010. no. 55. pp. 42–44.

5. Bichurin M.I., Petrov V.M., and Priya S. Magnetoelectric Multiferroic Composites. *In: Ferroelectrics Physical Effects / Ed. Mickaël Lallart. InTech*, 2011. pp. 277–302.

6. Bichurin M.I., Petrov V.M., Dong S., Cui X., Zhai J., Li J., Viehland D., Priya S. Dual Magnetic Field and Mechanical Vibrations Energy Harvesting System. *Engineered Multiferroics Magnetoelectric Interactions, Sensors and Devices*, (Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Volume 1161E, Warrendale, PA, 2009).

7. Petrov V.M., Bichurin M.I., Srinivasan G., Laletin V.M., Petrov R.V. Bending Modes and Magnetoelectric Effects in Asymmetric Ferromagnetic-Ferroelectric Structure. *Solid State Phenomena* Vol. 190 (2012) pp. 281–284.

8. Shashank Priya, Jungho Ryu, Chee-Sung Park, Josiah Oliver, Jong-Jin Choi and Dong-Soo Park. Piezoelectric and Magnetoelectric Thick Films for Fabricating Power Sources in Wireless Sensor Nodes. *Sensors* 2009, 9, 6362-6384; doi:10.3390/s90806362.

9. Bedekar V., Bichurin M, Solovjev Iand Priya S. Multimodal Energy Harvesting System. *Proc. SPIE* 8035, *Energy Harvesting and Storage: Materials, Devices, and Applications II*, 80350T (May 17, 2011); doi:10.1117/12.884747.

Рецензенты:

Захаров А.Ю., д.ф.-м.н., профессор, заведующий секцией кафедры общей и экспериментальной физики, ИЭИС НовГУ, г. Великий Новгород;

Селезнёв Б.И., д.т.н., профессор, директор, ИЭИС НовГУ, г. Великий Новгород.

УДК 62-886

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НЕСООСНОСТЬ СОПРЯГАЕМЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Станкевич А.Ю., Куцубина Н.В., Санников А.А.

ФГБОУП ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: stankevich_art@mail.ru

Несоосность сопрягаемых посредством муфт валов приводов технологического оборудования устраняется при их выверке при неработающих машинах. Технология и измерительная техника, используемые при выверке, хорошо разработаны и не требуют разъяснений. В статье рассмотрены часто встречающиеся факты, когда при эксплуатации оборудования вследствие ряда причин нарушается соосность валов, соединяемых различными муфтами. Иначе возникает так называемая эксплуатационная несоосность валов. На основе теоретических и экспериментальных исследований выясняются причины возникновения, методы диагностирования. Приведен спектральный анализ вибрационных характеристик технологического оборудования с эксплуатационной несоосностью. Определены характерные признаки эксплуатационной несоосности. Предлагаются возможные пути предотвращения и устранения эксплуатационной несоосности. Особое внимание уделяется эксплуатационной несоосности в приводах с подвесным на входном валу рабочей машины редуктором.

Ключевые слова: несоосность, вибродиагностика, бумагоделательное оборудование, выверка

OPERATIONAL MISS INTERFACED SHAFT PAPERMAKING EQUIPMENT

Stankevich A.Y., Kutsubina N.V., Sannikov A.A.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: stankevich_art@mail.ru

Misalignment of the mating drive shaft through the coupling of process equipment is eliminated when reconciling with the non-performing machines. Technology and measuring equipment used in the alignment are well designed and do not require clarification. The article deals with common facts, when the equipment is operated a number of reasons disturbed alignment shaft connects the various couplings. Otherwise there is the so-called operating shaft misalignment. On the basis of theoretical and experimental studies investigated the causes, methods of diagnosis. The spectral analysis of the vibration characteristics of the process equipment with operational misalignment. The characteristic signs of operational misalignment. It suggests possible ways to prevent and resolve operational misalignment. Particular attention is paid to operational misalignment with outboard drives on the input shaft of the driven machine gear.

Keywords: disalignment, vibrodiagnostics, papermaking equipment, reconciliation

В приводах технологического оборудования целлюлозно-бумажных и других производств широко применяется классическая схема, состоящая из электродвигателя, редуктора и входного вала рабочей машины. Валы редуктора и электродвигателя связываются муфтами различного типа. Иногда редуктор и рабочая машина связываются промежуточным валом или карданной передачей. В процессе сборки или при профилактических мероприятиях производят выверку валов – валы центрируются. При центровке зачастую применяются современные средства центрирования. Нередко при пуске привода в работу после центрирования возбуждается вибрация агрегата высокой интенсивности на тех же частотах, которые были до центрирования. Эта вибрация слабо идентифицируется, возникают сомнения в качестве выверки. С подобными случаями авторы многократно встречались при диагностической экспертизе вибрации оборудования на производстве. Рассмотрим наиболее типичные случаи.

Колебания привода центробежных насосов

В целлюлозно-бумажных производствах (ЦБП) применяются сотни центробежных насосов для перекачки жидких сред. Центровка насосов осуществляется при неработающем оборудовании [5]. В процессе работы изменяются силовые и температурные воздействия на насос, что приводит к расцентровке валов двигателя и насоса и возбуждению интенсивной вибрации насосно-трубопроводной системы. При контроле расцентровки на остановленном оборудовании она не обнаруживается.

Рассмотрим эксплуатационную расцентровку на примере насосного агрегата циркуляции варочного раствора в потоке для варки целлюлозы.

Варочные котлы оснащены насосами циркуляции ВА-350/300-40 (рис. 1) с максимальным напором 40 м. Насосы работают определенное время в процессе варочного цикла и перекачивают варочный раствор из нижней части котла в верхнюю горловину.

Температурные режимы варки по ходу цикла меняются и находятся в диапазоне от 40 до 150 °С.

Насосный агрегат установлен на сварную раму невысокой жесткости. Роторы электродвигателя и насоса связаны втулочно-пальцевой муфтой. Нагнетательный трубопровод опирается непосредственно на патрубок насоса без компенсационных петель.

В процессе работы на насосе со стороны нагнетательного трубопровода действуют усилия из-за температурных деформаций трубопровода и веса столба жидкости высотой 18 м, достигающего 24 кН (2,4 т).

После тщательной центровки роторов двигателя и насоса при неработающем котле и загрузке трубы щелоком при температуре 40 °С расцентровка составила 1,06 мм; при температуре 100 °С – 2,1 мм; 140 °С – 3,3 мм. Причина расцентровки заключается в том, что при температурных воздействиях и весе столба щелока рама насосного агрегата деформируется.

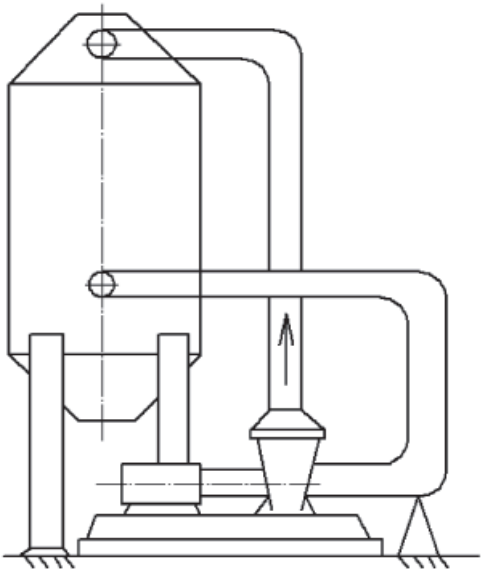


Рис. 1. Схема установки для варки целлюлозы:
1 – варочный котел;
2 – насосный агрегат циркуляции

Расцентровка насосного агрегата является источником вибрации насоса и двигателя с частотами, равными и кратными частоте вращения агрегата, что приводит к снижению надежности агрегата [4].

Для уменьшения вибрации предложены усиление рамы насоса и ее виброизоляция.

Другой вид эксплуатационной расцентровки двигателя и рабочей машины заключается в том, что они имеют вибрацию различной интенсивности и на различных частотах, приводящую к несоосности валов, изменяющейся на этих частотах [2]. На вибрацию двигателя и рабочей машины накладывается вибрация на оборотной частоте муфт и на гармониках этой частоты.

Колебания приводов оборудования с подвесным редуктором

В технологических машинах часто используют привод, в котором редуктор передаточного устройства подвесной на роторе технологической машины. Динамические процессы в таком приводе отличаются от динамических процессов приводов технологических машин с традиционной компоновкой.

Вибрация подвесных редукторов часто является причиной появления эксплуатационной несоосности вала электродвигателя и входного вала подвесного редуктора. Типичным примером влияния колебаний подвесного редуктора на эксплуатационную несоосность ротора электродвигателя и входного вала редуктора является колебания привода вакуум-насоса.

Привод вакуум-насоса имеет следующую компоновку (рис. 2). На цапфу ротора вакуум-насоса опирается ведомое зубчатое колесо одноступенчатого редуктора 2, корпус редуктора также подвешен на этой цапфе. Редуктор закреплен от проворачивания реактивной опорой 5 со смещением от его оси симметрии. Приводная шестерня редуктора соединена с электродвигателем 3 посредством упругой втулочно-пальцевой муфты 4 с десятью пальцами. Двигатель и насос опираются на массивный фундамент 6.

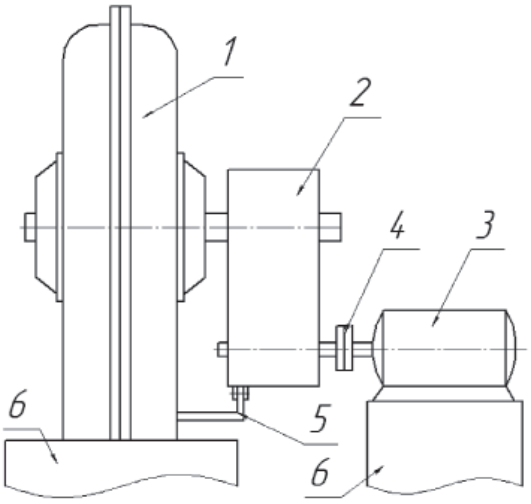


Рис. 2. Схема вакуум-насоса

Исследование параметров вибрации вакуум-насоса показало, что редуктор совершает интенсивные колебания преимущественно на частоте электродвигателя, равной 25 Гц

(рис. 3), СКЗ виброскорости достигает 40…60 мм/с при допустимом значении 4,5 мм/с. Также на спектре частот редуктора присутствуют вторая, третья, четвертая гармоника оборотной частоты электродвигателя, что свидетельствует о наличии несоосности роторов электродвигателя и редуктора возникающей при эксплуатации вакуум-насоса, так называемой эксплуатационной несоосности.

СКЗ виброскорости корпусов электродвигателя и насоса достигала 12–15 мм/с на оборотной частоте насоса. Последствиями вибрации обнаружены трещины в крышке электродвигателя и в опорной раме станины насоса [4].

Для устранения повышенной вибрации возникла необходимость уменьшения вибрации редуктора усилением реактивной опоры и применением динамического гасителя колебаний [1], что снизило эксплуатационную несоосность валов двигателя и входного вала редуктора.

Представляет также интерес виброактивность привода сушильного цилиндра типа «Янки» бумагоделательной машины.

Сушильный цилиндр имеет диаметр 4500 мм и массу 56 т. Приводится данный цилиндр от двигателя постоянного тока через карданный вал и двухступенчатый цилиндрический редуктор с косозубым зацеплением. Редуктор установлен на цапфе цилиндра (рис. 4).

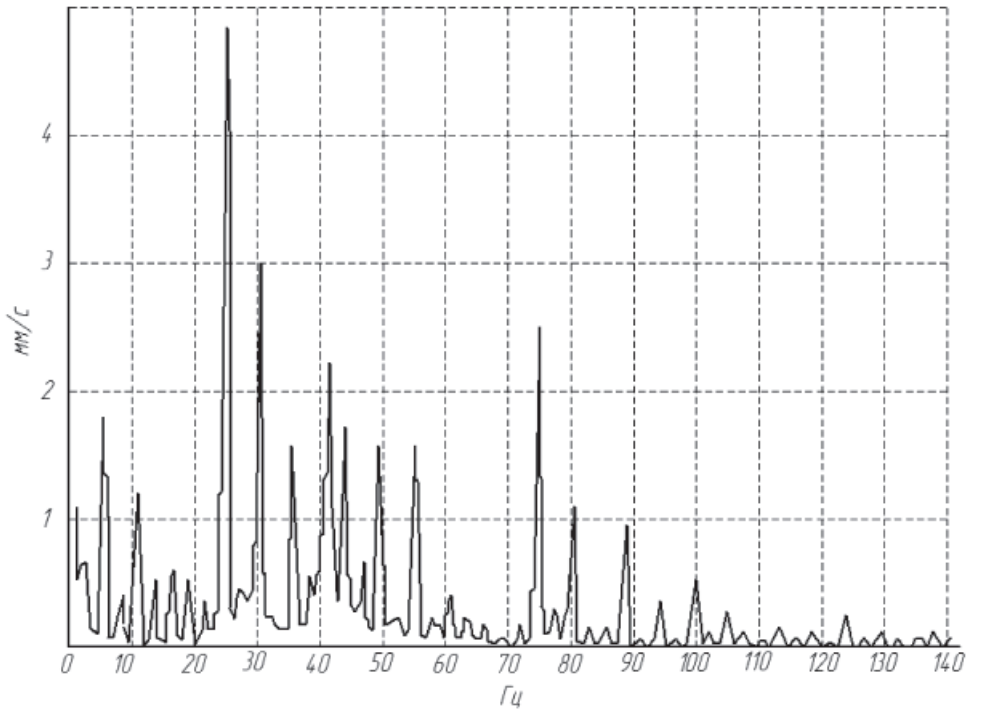


Рис. 3. Спектр вибрации редуктора вакуум-насоса в поперечном направлении

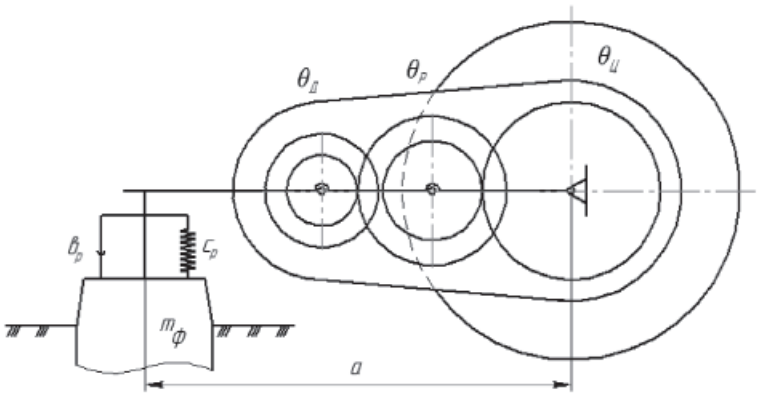


Рис. 4. Схема привода сушильного цилиндра

При спектральном анализе вибрации редуктора цилиндра было выявлено преобладание вибрации, по интенсивности, корпуса редуктора в виде поворотных виброперемещений относительно оси цапфы. Также в спектрах вибрации редуктора были обнаружены частоты вращения приводного вала редуктора с целыми и полуцелыми значениями ее гармониками (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; … 6,0 и т.д.) [3]. В спектрах также ярко выражены зубцовые частоты тихоходной ступени редуктора.

Для уменьшения поворотной вибрации редуктора в реактивной опоре редуктора установлен демпфер колебаний.

Подвесные редукторы применяются также в приводе машинного каландра бумагоделательной машины.

Заключение

В приведенных примерах показано, что при определенных условиях в приводах технологических машин возникают явления, приводящие к эксплуатационной несоосности сопрягаемых валов, соединяемых муфтами традиционного типа. При появлении эксплуатационной несоосности резко увеличиваются динамические нагрузки на оборудование и поддерживающие конструкции. Частота динамических воздействий равна и кратна оборотной частоте. Приведены рекомендации по уменьшению или предотвращению эксплуатационной несоосности валов и роторов.

Список литературы

1. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. Т.1. Колебания линейных систем / под ред. И.Н. Блехмана – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.

2. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.

3. Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях отраслей лесопромышленного комплекса: материалы научно-технического семинара – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1999 – 132.

4. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сборник / под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416.

5. Каминский М.Л. Центровка валов электрических машин. – М.: изд. Энергия, 1972 – 72.

References

1. *Vibraciya v tekhnike: Spravochnik v 6 t. T. 1 Kolebaniya lineinykh sistem* [Vibration technique: Manual in 6 vol. Vol. 2 Fluctuations in linear systems] / Edited by I.N. Blekhman Moscow: Mechanical engineering, 1979. 351p.

2. *Vibraciya v tekhnike: Spravochnik v 6 t. T.3. Kolebaniya mashin, konstruktsiy i ikh elementov* [Vibration technique: Manual in 6 vol. Vol.3. Fluctuations machines, structures and their elements] / Edited by F.M. Dimentberg, K.S. Kolesnikov. Moscow: Mechanical engineering, 1980. 544 p.

3. *Vibroakusticheskie processy v tehnologijah, oborudovanii i sooruzhenijah otraslej lesopromyshlennogo kompleksa: materialy nauchno-tehnicheskogo seminara* [Vibroacoustically process in tehnologies, equipment and facilities industries timber processing complex: materials science and technology seminar] – The ural state forest engineering academy, Yekaterinburg, 1999. 132.

4. Vibrodiagnostika, tribotekhnika, vibraciya i shum: monograficheskiy sbornik [Vibrodiagnostics, triboengineering, vibration and noise: monographic collection] / Edited by A.A. Sannikova, N.V. Kutsubinoy. The ural state forest engineering university, Yekaterinburg, 2009. 416.

5. *Kaminskiy M.L. Tsentrovka valov elektricheskikh mashin* [Electrical machinery shaft alignment]. Moscow, Energy.

Рецензенты:

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург;

Глухих В.В., д.т.н., профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.

УДК 621.73.079, 621.73.043

АНАЛИЗ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ ОПЕРАЦИЙ ОТРЕЗКИ И НАГРЕВА ЗАГОТОВОК ИЗ СОРТОВОГО ПРОКАТА КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Телегин И.В., Володин И.М.

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

В работе приводятся результаты исследования влияния на металлоёмкость технологического процесса изготовления поковок на кривошипных горячештамповочных прессах точности диаметра сортового проката, точности нарезанных из него заготовок и способа их нагрева. Приведены оригинальные зависимости, связывающие эти параметры с массой штампуемых поковок. Предложены критерии, позволяющие оценить металлоёмкость технологического процесса горячей объёмной штамповки круглых в плане поковок, и программа для ЭВМ, позволяющая рассчитать эти критерии. Важнейшей особенностью методики расчёта параметров заготовок, реализованной в предложенном программном решении, является возможность определения их геометрических параметров и количественной оценки потерь металла с учётом включённых в программное решение баз данных геометрических параметров сортового проката круглого сечения, а также баз статистических данных о точности отрезаемых заготовок при использовании различного оборудования и потерях металла вследствие угара при их нагреве.

Ключевые слова: горячая штамповка, металлоёмкость, заготовка, поковка

ANALYSIS OF THE METAL CONSUMPTION OF OPERATIONS PARTING AND HEATING BLANKS FROM ROLLED BAR ROUND SECTION

Telegin I.V., Volodin I.M.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

The paper presents results of a study the effects on metal consumption of the technological process of manufacturing of forgings on hot-crank press, precision diameter of rolled bar, precision cut pieces out of it, and their method of heating. Presents original dependences linking these parameters with the mass of stamped forgings. The criteria to assess the metal consumption of process hot die forming round forgings and the computer program that allows you to calculate these criteria. The most important feature of the method of calculating the parameters of blanks realized in the proposed software solution is the ability to determine their geometric parameters and quantification of metal loss in view of the included in software solution databases of geometrical parameters of rolled bar round section, as well as statistical databases on the accuracy of the cut pieces using various equipment and metal loss due to waste of metal when heated.

Keywords: hot forming, metal consumption, blank, forging

Металлоёмкость технологического процесса – это количество материала, необходимое для изготовления готового изделия. В случае производства металлических изделий машиностроения стоимость металла составляет значительную часть от стоимости всего изделия.

Очевидны следующие направления снижения металлоёмкости детали:

- изменение конструкции самой детали;
- уменьшение доли отходов металла, возникающих в связи с её производством.

Статья посвящена исследованию второго направления применительно к процессам производства стальных деталей круглых в плане (осесимметричных) методом горячей объёмной штамповки (ГОШ) на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) с последующей механической обработкой.

Определим следующие понятия:

1. Минимально допустимая масса заготовки – масса заготовки, позволяющая в рамках данного технологического процесса ГОШ получить бездефектную поковку. При массе заготовки ниже допустимого значения гарантировано возникновение дефектов, связанных с незаполнением гравюра штампа окончательного перехода.

2. Коэффициент металлоёмкости технологического процесса изготовления детали – отношение массы заготовки к массе готовой детали:

$$cK_M = \frac{M_З}{M_Д} \geq 1; \quad мK_M = \frac{M_{max}}{M_Д} \geq 1, \qquad (1)$$

где $M_З$, M_{max} – средняя и максимальная массы заготовки; $M_Д$ – масса детали. Очевидно, чем больше $cK_М$ и $мK_М$, тем менее эффективен технологический процесс.

Критерии металлоёмкости (1) выгодно отличаются от других подобных [2, 6, 7], поскольку позволяют более точно оценить влияние параметров технологического процесса ГОШ на общую металлоёмкость всего процесса изготовления детали.

На практике, как правило, заполнение гравюры штампа окончательного перехода осуществляется одновременно с образованием облоя при открытой штамповке или заполнением компенсатора при закрытой штамповке. В результате определить минимальную массу поковки (и заготовки соответственно) можно лишь или экспериментально, или путём численного моделирования. В данной работе для моделирования процессов ГОШ используется программа QForm 7.24 [1]. В качестве примера на рис. 1 и 2 показаны технологические переходы ГОШ круглой в плане поковки детали «Шестерня» [черт. 17, 3], и результаты расчёта минимальной высоты заготовки (условная) в предположении точно соответствуют номинальному диаметру сортового проката, из которого заготовка изготавливается.

Следует отметить, что известны технологические процессы ГОШ, содержащие три формообразующих перехода, у которых формирование облоя осуществляется на предварительном переходе, затем обрезка и окончательная штамповка [7]. В этом случае минимальная масса поковки определяется на предварительном переходе.

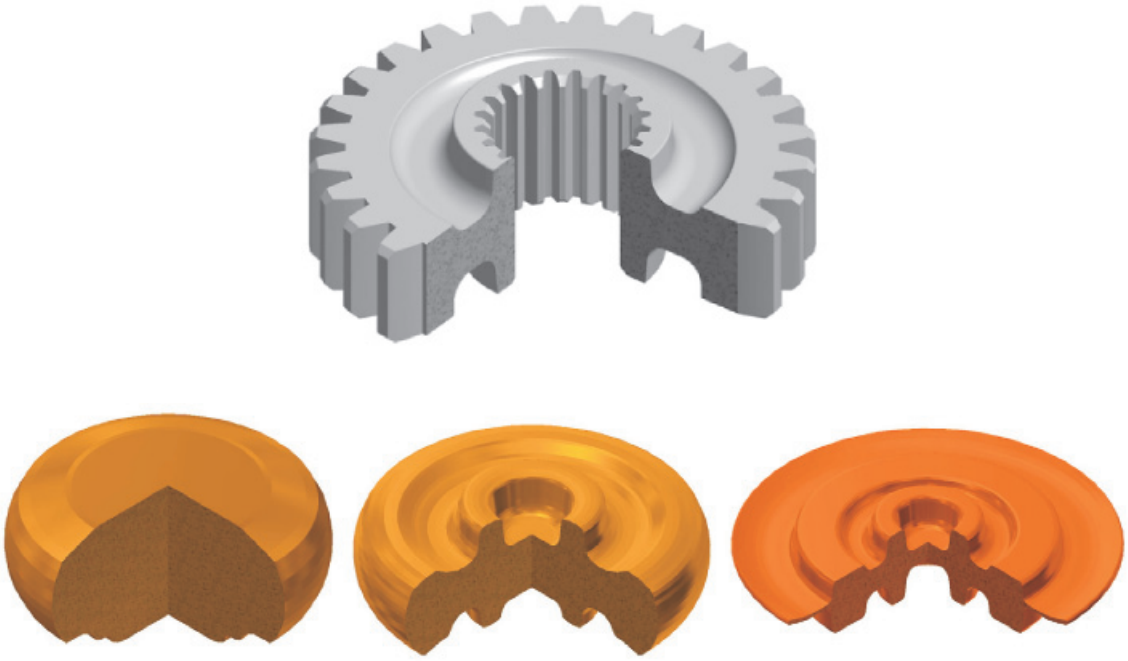
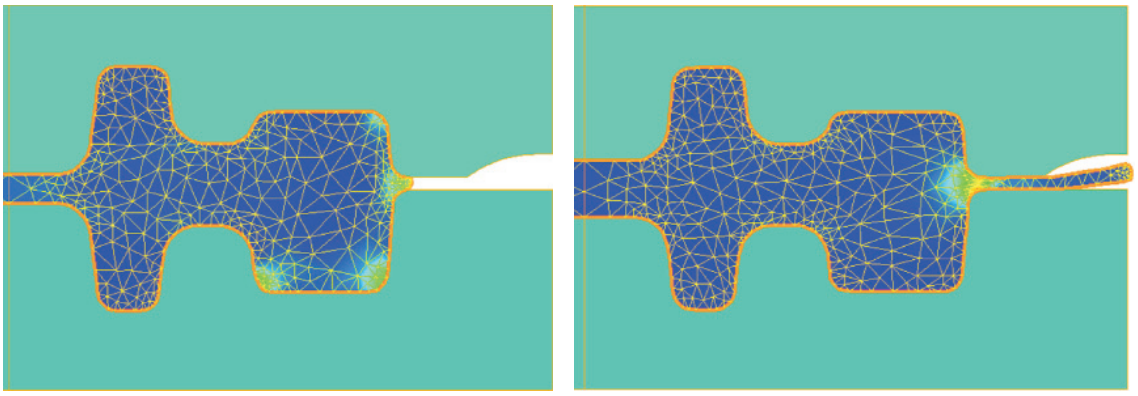


Рис. 1. Деталь «Шестерня» и технологические переходы изготовления её поковки



а б

Рис. 2. Окончательный штамповочный переход при условной высоте заготовки: а – 101,5 мм; б – 109,75 мм

Наряду с потерями металла при реализации процессов ГОШ, связанных с угаром, довольно существенными могут оказаться потери вследствие назначения припусков на длину заготовки для компенсации:

- отклонений диаметра сортового проката от номинального значения;
- неточностей при отрезке заготовки.

В таблице приведены данные исследования влияния различных факторов на металлоёмкость ГОШ поковки детали «Шестерня», показанной на рис. 1.

Из анализа полученных результатов следует, что:

- точность проката, способ нагрева и отрезки заготовки оказывают заметное влияние на металлоёмкость технологического процесса ГОШ;
- величина соотношения длины ($L_з$) и диаметра ($D_з$) заготовки значительного влияния на металлоёмкость процесса ГОШ не оказывает. В то же время прослеживается устойчивая тенденция к увеличению металлоёмкости с уменьшением отношения высоты к диаметру заготовки.

Реальные длина ($L \pm \Delta$) и диаметр $\left(D_{D_{\min}}^{D_{\max}}\right)$ заготовки, полученной из сортового проката круглого сечения, не являются константами. Точность заготовки Δ зависит от способа её отрезки (ножницы для резки сортового проката, отрезка в штампе, ножовочно-отрезной станок и др.) и предполагается известной [4]. Отклонения диаметра заготовки ($D_{\min}$, $D_{\max}$) от номинального значения (D).

Потери массы заготовки при её нагреве ($U_{\min}$, $U_{\max}$) зависят от способа нагрева (пламенный на природном газе, пламенный на мазуте, индукционный), времени, температуры нагрева, материала заготовки, измеряются в процентах от её массы и также считаются известными [4].

Результаты исследования влияния параметров заготовки на коэффициенты металлоёмкости ГОШ (cK_M и мK_M)

Параметр	Отношение $\frac{L_з}{D_з}$					
	2,3	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33
Точность прокатки: А1, Б1, В1, А01, А2, В2. Нагрев пламенный на природном газе. Отрезка на сортовых ножницах						
А1	1,760 1,818	1,760 1,820	1,760 1,822	1,765 1,825	1,765 1,827	1,765 1,830
Б1	1,770 1,843	1,770 1,843	1,770 1,845	1,776 1,847	1,776 1,848	1,776 1,850
В1	1,776 1,855	1,776 1,855	1,776 1,856	1,781 1,857	1,781 1,859	1,781 1,860
А2	1,760 1,818	1,760 1,820	1,760 1,822	1,765 1,825	1,765 1,828	1,765 1,830
В2	1,792 1,880	1,792 1,879	1,792 1,879	1,792 1,879	1,792 1,880	1,792 1,881
Способ нагрева заготовки. Точность прокатки Б1. Отрезка на сортовых ножницах						
Индукционный	1,743 1,803	1,743 1,804	1,743 1,805	1,743 1,807	1,743 1,809	1,743 1,811
Пламенный на природном газе	1,770 1,843	1,770 1,843	1,770 1,845	1,776 1,847	1,776 1,848	1,776 1,850
Пламенный на мазуте	1,787 1,861	1,787 1,862	1,787 1,863	1,787 1,865	1,787 1,867	1,787 1,869
Способ отрезки заготовки. Точность прокатки Б1. Нагрев пламенный на природном газе						
На сортовых ножницах	1,770 1,843	1,770 1,843	1,770 1,845	1,776 1,847	1,776 1,848	1,776 1,850
На ножовочно-отрезных станках	1,765 1,832	1,765 1,831	1,765 1,831	1,765 1,831	1,765 1,831	1,765 1,832

На первом этапе разработки технологического процесса ГОШ, включающего осадку, предварительную и окончательную штамповку, решается вопрос о выборе размеров заготовки. Исходными данными для этого являются минимальный объём поковки (V_{min}) и её диаметр ($D_з$). Масса заготовки и её объём связаны очевидной зависимостью $M_{min} = V_{min} \cdot \rho$, где ρ – плотность материала поковки. Объём заготовки ($V_з$), её диаметр ($D_з$) и длина ($L_з$) должны удовлетворять следующим соотношениям [5]:

$$1,25 \le \frac{L_з}{D_з} \le 2,5; \quad V_з = \frac{\pi \cdot D_з^2}{4} L_з, \qquad (2)$$

где объём и длина заготовки могут принимать значения от V_{min}, L_{min} до V_{max}, L_{max} соответственно. Диаметр заготовки ($D_з$) считается величиной постоянной, значение которой обычно принимается равным номинальному диаметру соответствующего размера сортового проката, из которого изготавливается заготовка, или уменьшенным на величину угара.

Можно показать, что если минимальный и максимальный диаметры прутка D_{min} и D_{max}, то соответствующие диаметры заготовки

$$d_{min} = D_{min} \cdot \sqrt{1 - 0,01 \cdot U_{max}};$$

$$d_{max} = D_{max} \cdot \sqrt{1 - 0,01 \cdot U_{min}}. \qquad (3)$$

Минимальная длина заготовки с учётом угара при минимальном диаметре прутка, в пределах допуска на его изготовление:

$$l_{min} = \frac{4 \cdot V_{min}}{\pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{max}) D_{min}^2}. \qquad (4)$$

Максимальный объём заготовки с учётом допуска на её диаметр и длину:

$$V_{max} = 0,25 \cdot \pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{min}) \cdot D_{max}^2 \cdot (l_{min} + 2 \cdot \Delta),$$

или поле подстановки выражения для l_{min} и преобразований:

$$V_{max} = \frac{(1 - 0,01 \cdot U_{min}) \cdot D_{max}^2 \cdot V_{min}}{(1 - 0,01 \cdot U_{max}) \cdot D_{min}^2} + 0,5 \cdot \pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{min}) \cdot \Delta \cdot D_{max}^2. \qquad (5)$$

Предельные значения длин заготовки (L_{min} и L_{max}) диаметром $D_з$:

$$L_{min} = \frac{4 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_з^2}; \quad L_{max} = \frac{2 \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{min}) \cdot D_{max}^2}{D_з^2} \left(\Delta + \frac{2 \cdot V_{min}}{\pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{max}) \cdot D_{min}^2} \right). \qquad (6)$$

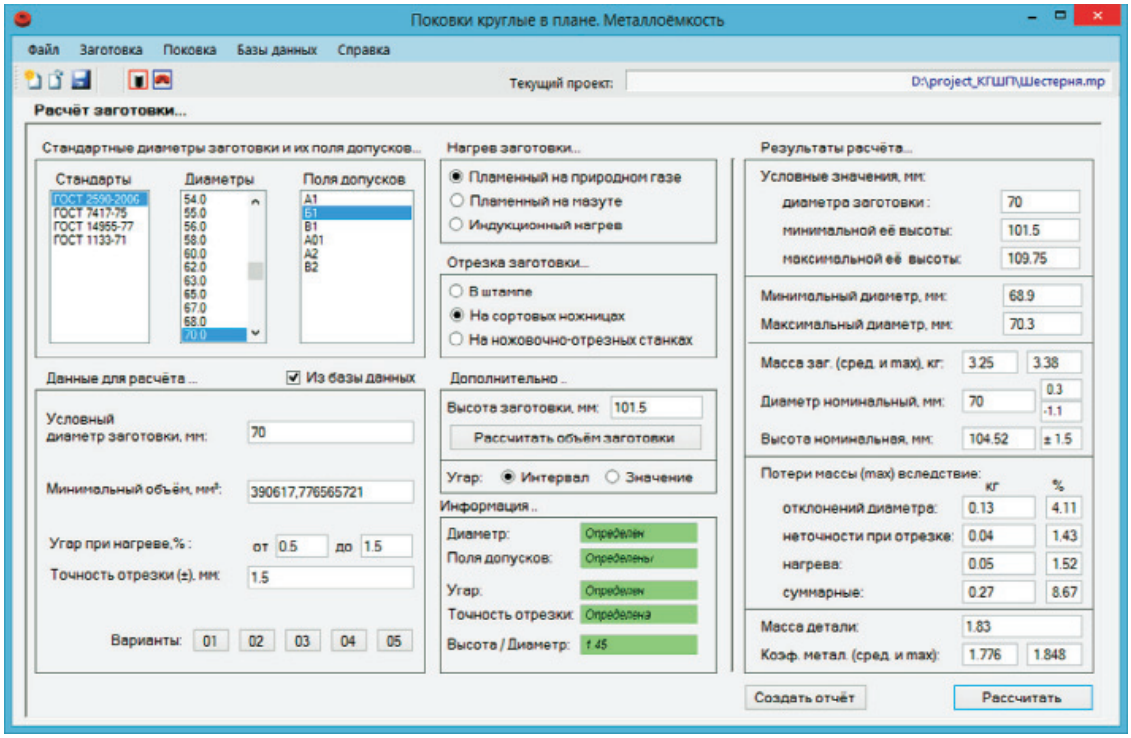


Рис. 3. Автоматизация процесса расчёта параметров заготовки

Значения L_{min}, L_{max} и $D_з$ будем называть условными. Это те параметры заготовки, которые используются в последующих расчётах ГОШ.

Размеры и масса (минимальная, максимальная и средняя) реальной заготовки, полученной после её отрезки:

$$L_з = \frac{4 \cdot (1 + 0,01 \cdot U_{max}) \cdot V_{min}}{\pi \cdot D^2} + \Delta \pm \Delta;$$

$$M_{min} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (L_з - \Delta) \cdot \rho;$$

$$M_{max} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (L_з + \Delta) \cdot \rho;$$

$$M_з = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_з \cdot \rho. \qquad (7)$$

Расчёт параметров заготовки в соответствии с зависимостями (2)–(7) автоматизирован. На рис. 3 представлено окно программы [8] расчёта параметров заготовки.

Для работы программы необходимо выбрать требуемый стандарт, определяющий параметры сортового проката, номинальный диаметр и его точность, указать минимальную длину заготовки, рассчитанную по методике, представленной на рис. 2, способ нагрева и отрезки. В результате вычислений будут получены условные значения минимальной и максимальной длин заготовки, необходимые для моделирования технологического процесса ГОШ в программе QForm [1], номинальная высота заготовки и её точность, а также рассчитаны коэффициенты металлоёмкости в соответствии с (1) и потери массы вследствие неточностей диаметра, погрешностей отрезки заготовки и угара металла при нагреве заготовки.

Список литературы

1. Биба Н.В. Qform – программа, созданная для технологов / Н.В. Биба, С.А. Стебунов // КШП. ОМД. – 2004. – № 9. – С. 38–41.

2. ГОСТ 18970-84. Обработка металлов давлением. Термины и определения. Операции ковки и штамповки.

3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски

4. Ковка и объёмная штамповка: справочник. В 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 2010. 720 с.: ил.

5. Ковка и объёмная штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объёмная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 2010. – 720 с.: ил.

6. Телегин В.В. Объектно-ориентированный подход и его компьютерная реализация в задачах исследования динамики механизмов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4 (3). – С. 623–628.

7. Телегин И.В. Исследование и совершенствование технологического процесса горячей объёмной штамповки круглых в плане поковок / И.В. Телегин, И.М. Володин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 4 (5). – С. 1310–1312.

8. Телегин И.В., Володин И.М. Поковки круглые в плане (осесимметричные). Анализ металлоемкости: св. о гос. рег. прог. для ЭВМ Росс. Фед. № 2014661697 от 16.09.2014. Дата поступления 11.11.2014.

References

1. Biba N.V. Qform – programma, sozdannaja dlja tehnologov. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 2004, no. 9, pp. 38-41.

2. GOST 18970-84. Obrabotka metallov davleniem. Terminy i opredelenija. Operacii kovki i shtampovki.

3. GOST 7505-89. Pokovki stalnye shtampovannye. Dopuski, pripuski i kuznechnye napuski.

4. Semjonov E.I. Kovka i objomnaja shtampovka: spravochnik. V 1. Materialy i nagrev. Oborudovanie. Kovka. Moscow, Mashinostroenie, 2010, 720.

5. Semjonov E.I. Kovka i objomnaja shtampovka: spravochnik. V 2. Gorjachaja objomnaja shtampovka. Moscow, Mashinostroenie, 2010, 720.

6. Telegin V.V. Obektno-orientirovannyj podhod i ego kompjuternaja realizacija v zadachah issledovanija di-namiki mehanizmov. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 12, no. 4(3), pp. 623–628.

7. Telegin I.V., Volodin I.M. Issledovanie i sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa gorjachej objomnoj shtampovki kruglyh v plane pokovok [Research and improvement technology of hot die forging process round in plan view forgings]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 14, no. 4(5), pp. 1310–1312.

8. Certificate 2014661697 Russian Federation. Certificate on the state registration of the computer program. Pokovki kruglye v plane (osesimmetrichnye). Analiz metalloemkosti. author I.V. Telegin (RU), I.M. Volodin (RU). applicant and owner Lipetsk State Technical University (LSTU) (RU). no. 2014661697; it is declared 16.09.2014; it is published 11.11.2014, Registry of the computer programs, 1 page.

Рецензенты:

Корнеев А.М., д.т.н., директор института машиностроения, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Лебедев С.В., д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.

УДК 547.787.2.07;621.9.02.07

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СОЖ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Тлехусеж М.А., Сороцкая Л.Н., Солоненко Л.А.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: k-obh@kubstu.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований и промышленных испытаний натриевой соли фурил- и арилсодержащей аминоакриловой кислоты в качестве присадки к смазочно-охлаждающим жидкостям (СОЖ) для механической обработки металлов. Ранее не были описаны перспективные в указанном направлении полизамещенные производные аминокислот, содержащие фенильные и фурильные радикалы в различном сочетании. В то же время известно, что такие группы усиливают и расширяют поверхностную активность присадок. Показана эффективность использования разработанной СОЖ для улучшения смачивания металлических поверхностей, стабилизации эмульсии, повышения коррозионной и износостойкости режущих инструментов и обрабатываемых деталей. Описываемая СОЖ является экологически чистой, более экономичной по сравнению с известными аналогами и может быть использована в машиностроении, нефтяной и газовой промышленности.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические системы (СОТС), смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), присадки, поверхностно-активные вещества (ПАВ), производные аминоакриловой и аминобутановой кислот, коррозионная стойкость, металлообработка

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COOLANTS FOR METAL CUTTING

Tlekhusezh M.A., Sorotskaya L.N., Solonenko L.A.

Kuban state technological university, Krasnodar, e-mail: k-obh@kubstu.ru

We present the results of experimental studies and industrial tests of the sodium salt of furyl- and arylaminoacrylic acids as an additive to cutting fluids (coolant) for mechanical working of metals. The use of such polysubstituted derivatives of amino acids containing phenyl and furyl radicals in various combinations has not been described previously. However, it is known that these groups enhance and extend the surface activity of additives. We showed the efficiency of the developed emulsions to improve wetting of the metal surfaces, stabilizing of the emulsions, improve of the corrosion and wear resistance of cutting tools and workpieces. The described emulsion is environmentally friendly, more cost-effective compared with the conventional counterpart and can be used in mechanical engineering, oil and gas industry.

Keywords: coolants system, cutting fluids (coolant), additive, surface-active agents (surfactants), aminoacrylic and aminobutyric acids derivatives, corrosion resistance, metal working

Наиболее доступным и экономически выгодным направлением технического прогресса в машиностроении, нефтяной и газовой промышленности является применение смазочно-охлаждающих технологических систем (СОТС).

Они используются для повышения стойкости режущего инструмента, улучшения качества обрабатываемой поверхности, снижения адгезионного схватывания инструментального и обрабатываемого материала. Это достигается направленным воздействием на физико-механические процессы, протекающие при резании металлов, за счет надлежащего выбора основы СОТС (вода, минеральные масла и т.п.), а также введением в СОТС присадок с необходимым комплексом химических и механохимических свойств, что способствует повышению надёжности и долговечности работы оборудования.

Разновидностью СОТС являются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Эффективность эксплуатации металлообрабатывающего оборудования во многом зависит от правильного выбора и применения СОЖ. Рациональный подбор и создание высокоэффективных СОЖ возможны при глубоком изучении природы взаимодействия обрабатываемых материалов, инструментов и механизмов.

Эффективность СОЖ определяется природой и строением присадок, обладающих высокой поверхностной активностью и улучшающих их свойства, функцию присадок выполняют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Они находят применение более чем в 100 отраслях народного хозяйства. Их крупными потребителями являются машиностроение, нефтяная, химическая, газовая промышленность. ПАВ регулируют эксплуатационные свойства буровых растворов и промывочных жидкостей с целью улучшения условий вскрытия и освоения пласта, способствуют снижению подкисления нефти при перекачке, повышают

нефтеотдачу, а также коррозионную стойкость нефтепромыслового оборудования [8]. Основу ПАВ составляют синтетические и природные полимеры, амины, соли синтетических жирных кислот, сульфитно-спиртовая барда и т.д.

Использование для металлообработки СОЖ и других смазок и жидкостей не только позволяет свести к минимуму производственный брак, повысить производительность промышленных агрегатов, но и сократить технологическую цепочку путем уменьшения количества операций, а также обеспечить лучшие условия труда для рабочих производственных цехов.

В связи с тем, что в настоящее время имеет место износ основных производственных фондов нефтеперекачивающих и компрессорных станций, разработка смазочно-охлаждающих технологических систем является актуальной задачей.

Однако ранее не были описаны перспективные в указанном направлении полизамещенные производные аминокислот, содержащие фенильные и фурильные радикалы в различном сочетании. В то же время известно, что такие группы усиливают и расширяют поверхностную активность присадок. Исследования, проведённые нами ранее, показали, что подобные вещества проявляют высокую поверхностную активность и могут использоваться в качестве новых присадок к СОЖ [4, 5], что подтверждено описываемым в данной статье внедрением научных результатов в производство.

Цель работы – изучение новой СОЖ для механической обработки металлов, содержащей созданную нами присадку – натриевую соль 2-N-бензоиламинофурилакриловой кислоты **1**, для определения стойкости режущего инструмента и изготавливаемых деталей, а также её коррозионных свойств и токсичности в условиях лабораторных исследований и промышленных испытаний.

Материал и методы исследования

Лабораторные исследования поверхностной активности созданной СОЖ проводили на токарно-винторезном станке 1К62 при продольном точении биметаллических заготовок из стали 45, армированной бронзой. Резцы оснащали многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава Т15К6. Скорость резания 187 мм/мин, подача 0,21 мм/об, глубина резания 0,5 мм, приведённый износ по задней поверхности резцов 1,2 мм.

Испытания коррозионной агрессивности СОЖ выполняли по ГОСТ 1412-85 и ГОСТ 6243-75.

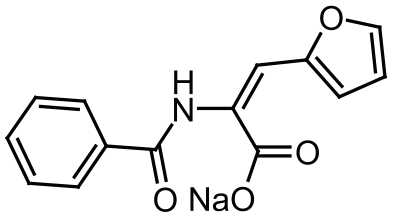
Экологическую экспертизу осуществляли в центральной эколого-аналитической лаборатории ООО «Кубаньгазпром».

Промышленные испытания изучаемой СОЖ проводили в ООО «Седин-инструмент» (г. Краснодар) на токарно-револьверном автомате и вертикально-сверлильном станке 2А В5 при изготовлении деталей типа гайка. С этой целью была наработана опытная партия натриевой соли 2-N-бензоиламинофурилакриловой кислоты и 310 литров СОЖ.

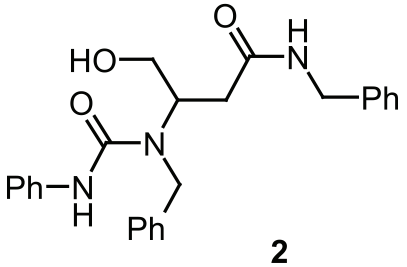
Результаты исследования и их обсуждение

Отличительной особенностью молекул ПАВ является их способность в небольшом количестве создавать на поверхности жидкости большие по размеру адсорбционные пленки, понижая поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Поверхностная активность ПАВ обусловлена асимметричным строением их молекул за счет дифильности: они содержат в своем составе полярные и неполярные группы. Гидрофильная (полярная) часть молекулы обладает сродством к полярным молекулам воды. К числу таких групп относятся карбоксильная (–COOH), карбонильная (–C = O), амино- (–NH_2), сульфгидрильная (–SH), нитрильная (–CN), сульфогруппа (–SO_3H). Неполярный углеводородный радикал (гидрофобная часть) ориентируется в неполярную среду, например в нефть, газ, воздух. Ориентированный адсорбционный слой молекул изменяет не только поверхностное натяжение, но и свойства граничного слоя жидкости. ПАВ являются мощным средством, позволяющим регулировать не только поверхностные свойства дисперсных систем, но их устойчивость и прочность [2].

Фенил- и фурилсодержащие производные аминоакриловой **1** и аминобутановой кислот **2** были синтезированы нами ранее [3]. Их формулы:



1



2

Исследование полезных свойств этих соединений и их аналогов продемонстрировало перспективность их практического применения. Так, производные аминобутановой кислоты **2** обладают широким спектром биологической активности, являясь эффективными рострегуляторами [6, 7]. Кроме того, описываемые вещества изучены в качестве новых ПАВ, которые использованы в виде присадок к смазочно-охлаждающим жидкостям [3].

Применение новых присадок **1** и **2** позволило создать СОЖ, обладающие высокими эмульгирующими свойствами. Однако, учитывая, что вещество **1** обладает лучшей водорастворимостью, чем **2**, СОЖ на его основе и была использована в машиностроении и приборостроении для смазки и охлаждения режущих инструментов, что подтверждено патентом [4]. Она проявила лучшие технические характеристики, чем СОЖ, содержащая смесь сукцината и фумарата натрия, разработанная нами ранее [5]. Известно, что применение смазочно-охлаждающей среды не препятствует возникновению высокой температуры. Однако действие СОЖ существенно уменьшает область нагрева инструмента.

Описываемая в данной статье эмульсия для механической обработки металлов содержит стандартный эмульсол марки ЭГТ и присадку – натриевую соль 2-N-бензоиламинофурилакриловой кислоты **1**. Проведённые исследования позволили определить оптимальную концентрацию присадки, при которой поверхностное натяжение эмульсии σ минимально и равно 31–32 Н/м^2, при этом установлено следующее соотношение компонентов в СОЖ (% по массе): эмульсол – ЭГТ – 1,19–1,21; вещество **1** – 0,15–0,2; умягченная вода – остальное.

Присадка **1** хорошо растворима в воде. Наличие нескольких функциональных групп (амино-, бензоил-, карбоксилатной) и двойной связи придает присадке большую поверхностную активность из-за синергизма их действия. Она не вызывает отделения масляной фракции СОЖ, увеличивает её стабильность как при хранении, так и при эксплуатации

Применение ПАВ **1** приводит к возникновению внешнего адсорбционного эффекта. При адсорбции молекул присадки на контактных поверхностях стружки, обрабатываемой детали и режущем инструменте могут появляться пленки различного химического состава, которые оказывают антифрикционное действие, т.к. обладают низким сопротивлением сдвигу. Это даёт основание полагать, что присутствие присадки в малой концентрации, достаточной для образования пленки толщиной порядка монослоя, способствует образованию на поверхностях достаточно прочных хемосорбционных пленок.

Установлено, что добавление недорогой присадки **1** в эмульсию улучшает смачивание металлических поверхностей и увеличивает дисперсность масляных частиц в эмульсии. При этом повышается стойкость режущих инструментов из-за эффективности образования смазочных пленок на поверхности режущего инструмента и обрабатываемого материала, что подтверждено лабораторными исследованиями. Результаты испытаний резцов приведены в таблице.

Из таблицы видно, что описываемая СОЖ позволяет повысить стойкость режущих инструментов при добавлении присадки от 0,15 до 0,2% по массе по сравнению со смесью сукцината и фумарата натрия [5].

Молекулы исследуемой присадки в разбавленном растворе гидролизуются с образованием устойчивых сопряженных анионов, что обеспечивает сохранение рабочей величины pH в пределах 7,5–8. В случае изменения соотношения эмульсола и присадки происходит уменьшение или увеличение pH, что вызывает коагуляцию СОЖ и отделение масляной фракции.

Результаты сравнительных стойкостных испытаний резцов

№ п/п	Компоненты СОЖ	Содержание компонентов, % по массе	Средняя стойкость и доверительный интервал стойкости, мин	Коэффициент повышения стойкости
1	Эмульсол ЭГТ Присадка (смесь сукцината и фумарата натрия)	2 0,01	2,088 ± 0,288	1
2	Эмульсол ЭГТ присадка **1**	1,2 0,15	2,728 ± 0,401	1,32
3	Эмульсол ЭГТ присадка **1**	1,2 0,2	2,61 ± 0,309	1,25

Базой для приготовления водорастворимых эмульсий, используемых при металлообработке, является эмульсол марки ЭГТ в количестве 3–5 % [1]. Применяемая СОЖ более экономична вследствие снижения концентрации базового эмульсола ЭГТ с 3–5 % по массе до 1,2 % [3].

Исследование коррозионной агрессивности смазочно-охлаждающих жидкостей с использованием присадки **1**, приготовленнных на дистиллированной и жесткой воде показало, что они не вызывают точечной коррозии чугунной пластинки. Это позволяет сделать вывод, что они не агрессивны к чугунам и сталям.

Разработанная нами эмульсия прошла экспертизу в центральной эколого-аналитической лаборатории ООО «Кубаньгазпром», в результате чего установлена её экологическая безвредность.

Промышленными испытаниями выявлено, что применение новой недорогой СОЖ способствует повышению стойкости инструмента в 2,1 раза. При этом изготавливаемые детали и инструмент не подвергаются коррозии при условии, что для получения рассматриваемой эмульсии использована умягченная вода. Отмечено отсутствие отрицательного воздействия на кожные покровы оператора по сравнению со смазочно-охлаждающей жидкостью, применяемой на заводе.

Выводы

1. Проведены лабораторные исследования по изучению поверхностной активности и коррозионных свойств новой СОЖ.

2. Выполнен анализ результатов лабораторного эксперимента, который доказал эффективность новой смазочно-охлаждающей жидкости для повышения стойкости режущих инструментов, её экологическую безопасность, экономичность по сравнению с известными аналогами, а также химическую инертность по отношению к чугунам и сталям.

3. Осуществлены промышленные испытания новой эмульсии для механической обработки металлов, позволившие установить повышение коррозионной и износостойкости инструмента и изготовляемых с его помощью деталей. При этом исследованная СОЖ является нетоксичной для рабочих.

Список литературы

1. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1981. – 200 с.

2. Зимон А.Д., Лещенко Н.Ф. Коллоидная химия: учебник для вузов. – 3-е изд., доп. и исправл. – М.: Агар, 2003. – 320 с.

3. Новые ПАВ на основе производных аминоуксусной и аминобутановой кислот и их использование в качестве присадок к смазачно-охлаждающим жидкостям / Л.А. Солоненко, М.А. Тлехусеж, Л.Н. Сороцкая, Л.А. Бадовская // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2012. – № 2. – С. 112–115.

4. Солоненко В.Г., Солоненко Л.А., Васин И.В., Гоев А.А., Сороцкая Л.Н., Бадовская Л.Н. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлов// Патент России № 2333239. 2008. Бюл. № 25.

5. Солоненко В.Г., Солоненко Л.А., Огарков А.А., Бадовская Л.А., Латашко В.М. Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлов // Пат. 2200187. 2003. Бюл. № 7.

6. Тлехусеж М.А., Тюхтенёва З.И.,Ненько Н.И. Активаторы прорастания семян озимой пшеницы на основе амидов полизамещённой аминомасляной кислоты // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. URL: www.science-education.ru/121-19606 (дата обращения: 08.07.2015).

7. Тюхтенёва З.И., Бадовская Л.А., Тлехусеж М.А., Ненько Н.И. Активатор прорастания семян озимой пшеницы, повышающий устойчивость проростков к водному стрессу // Патент России № 2373709.2009. Бюл. № 33.

8. Фахретдинов П.С., Борисов Д.Н., Романов Г.В., Ходырев Ю.П., Галиакберов Р.М., Зиятдинов А.Ш. Ингибиторы коррозии из ряда амино- и аммониевых соединений на основе α-олефинов и оксиэтилированных нонилфенолов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2008. – № 2. URL: http://ogbus.ru/authors/Fahretdinov/Fahretdinov_3.pdf.

References

1. Abramzon A.A. *Poverhnostno_aktivnie veschestva*. L. Himiya. 1981. 200 p.

2. Zimon A.D. Leschenko N.F. *Kolloidnaya himiya. Uchebnik dlya vuzov*. 3e izd. dop. i ispravl. M. Agar 2003. 320 p.

3. Solonenko L.A., Tlekhusezh M.A., Sorotskaya L.N., Badovskaya L.A. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Techn. nauki*, 2012, no. 6, pp. 112–115.

4. Solonenko V.G, Solonenko L.A**,** Vasin I.V., Goev A.A. Sorotskaya L.N., Badovskaya L.A. *Patent RF no. 2333239*. 2008. *Bjul*. no. 25.

5. Solonenko V.G., Solonenko L.A.**,** Ogarkov A.A., Badovskaya L.A., Latashko V.M.**.** *Patent RF no. 2200187*. 2003. *Bjul.* no. 7.

6. Tlekhusezh M.A., Tyukhteneva Z.I., Nenko N.I. *Modern problems of science and education,* 2015, no. 1. URL: www.science-education.ru/121-19606 (accessed: 08.07.2015).

7. Tyukhteneva Z.I., Badovskaya L.A., Tlekhusezh M.A. *Patent RF no. 2373709.2009*. *Bjul*. no. 33.

8. Fakhretdinov P.S, Borisov D.N., Romanov G.V., Hodyrev Yu.P, Galiakberov R.M., Ziyatdinov A.Sh. Elektronnii nauchnii jurnal «Neftegazovoe delo». 2008, no. 2. URL: http://ogbus.ru/authors/Fahretdinov/Fahretdinov_3.pdf.

Рецензенты:

Бережной С.Б., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технической механики и гидравлики, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар;

Рувинский О.Е., д.х.н., профессор кафедры химии, метрологии и стандартизации, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

УДК 676.056.713

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БАТАРЕЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Фоминых И.М., Куцубина Н.В., Перескоков И.В., Санников А.А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: fominuh1990@yandex.ru, nelly3416@mail.ru

В статье рассмотрено моделирование структурных параметров технического состояния (СПТС) наиболее сложных и ответственных батарейных конструкций бумагоделательных машин (БМ): прессов и машинных каландров. Батарейные конструкции – технологические машины, представляющие собой системы вращающихся валов, связанных друг с другом по образующей цилиндрической части валов при наличии или при отсутствии между валами промежуточного тела. Техническое состояние батарейных конструкций непосредственно влияет на надежность работы всей бумагоделательной машины и качество производимой бумаги. Помимо структурных параметров в статье проводится анализ их диагностических признаков, преимущественно параметров вибрации при силовом, кинематическом, параметрическом или автофрикционном воздействиях СПТС. Статья представляет интерес для специалистов по проектированию, модернизации и технической эксплуатации оборудования бумагоделательных машин и специалистов по вибродиагностике.

Ключевые слова: бумагоделательное оборудование, техническое состояние, вибродиагностика, пресс, каландр, вал

STRUCTURAL PARAMETERS AND DIAGNOSTIC FACTORS OF A TECHNICAL CONDITIONS OF BATTERY SYSTEMS

Fominykh I.M., Kutsubina N.V., Pereskokov I.V., Sannikov A.A.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: fominuh1990@yandex.ru, nelly3416@mail.ru

At the article viewed modeling structural parameters of a technical conditions (SPTC) of most complex and critical constructions of papermaking machine (PM): presses and calenders. Battery systems – technological machines, which are of rotating rolls connected to each other by generant in the presence or absence of the intermediate stuff between the rolls. The technical condition of the battery construction directly affects the reliability of the entire paper machine and the quality of the products. In addition to the structural parameters of the article analyzes and diagnostic factors. Mostly vibration parameters, with the force, kinematic, parametric or autofrictional influens SPTC. The article is of interest for specialists in the design, modernization and technical operation of paper machine equipment and experts in vibration diagnostics.

Keywords: papermaking machine, technical condition, vibration diagnostics, press, calender, shaft

Бумагоделательные машины (БМ) – базовые сложные технические системы целлюлозно-бумажных производств (ЦБП) для выработки конечной продукции. Здесь под БМ понимаются не только системы для выработки бумаги, а также картоноделательные машины для выработки картона, сушильные машины – для выработки листовой целлюлозы

В статье рассмотрено моделирование структурных параметров и диагностических признаков батарейных конструкций БМ. Батарейные конструкции представляют собой системы валов, связанные между собой по образующей цилиндрических поверхностей валов при наличии или отсутствии в зоне контакта промежуточного тела. В ЦБП к батарейным конструкциям можно отнести прессовую часть бумагоделательной машины, каландры, суперкаландры, продольно-резательные станки и другое оборудование ЦБП.

Прессы БМ предназначены для обезвоживания бумажного полотна до сухости 25–48 % путем механического отжима воды из пор бумажного полотна между валами, а также для уплотнения и придания гладкости бумаге.

Каландры представляют батарею чугунных валов с отбеленным наружным слоем Прижим валов осуществляется под действием собственного веса. В некоторых конструкциях применен дополнительный пневмо- или гидроприжим верхнего вала.

Заметим, что в статье рассматриваются СТПС и диагностические признаки только типовых конструкций прессов и каландров, которые используются на большинстве эксплуатирующихся БМ. Башмачные прессы, термокаландры здесь не обсуждаются.

В прессах и каландрах БМ используются уникальные валы, не встречающиеся в других отраслях техники: отсасывающие, гранитные, с регулируемым прогибом. Характерная особенность этих валов – наличие двух соосных взаимосвязанных элементов. В отсасывающих валах такими элементами являются вращающаяся рубашка вала и неподвижная отсасывающая камера, связанные между собой упругодемпфирующими связями в виде подшипниковых опор и уплотнений отсасывающей камеры. В валах с регулируемым прогибом на гидравлической поддержке неподвижная ось (сердечник) и вращающаяся рубашка связаны гидравлическими элементами и подшипниками качения. В гранитных валах сердечник и рубашка связаны посредством цементной заливки или полимера.

Конструкции сложных валов описаны в монографии [2].

Привод прессов и каландров состоит из электродвигателей постоянного тока с тиристорным управлением или асинхронных электродвигателей с частотным регулированием, редукторов и промежуточных валов. Для привода валов БМ с неподвижными корпусами подшипников применяются промежуточные валы с зубчатыми или пластинчатыми муфтами. Для привода прижимных валов используются карданные передачи.

В прессах и каландрах проявляются практически все виды СПТС, встречающиеся в оборудовании, в захватах валов проявляется трение качения цилиндров с промежуточным «телом» в виде сукна и бумаги, а также покрытия валов. Валы опираются на двурядные сферические роликовые подшипники. В приводе могут быть дефекты и повреждения электродвигателей, зубчатых передач редукторов, муфт, различные несоосности и отклонения сопрягаемых валов. Рассмотреть все эти СПТС в одной статье принципиально невозможно.

Структурные параметры технического состояния возбуждают практически все известные виды вибрации: вынужденные при силовом и кинематическом возбуждении, собственные и параметрические, автофрикционные и самовозбуждающиеся [5, 3].

Таким образом, можно сказать что основными признаками технического состояния оборудования являются параметры вибрации. Диагностическими признаками ТС прессов являются параметры вибрации всех валов, но наиболее интенсивную вибрацию имеют прижимные валы. При диагностике прессов используется вибрация прижимных валов (кроме диагностики подшипников качения).

Математическая модель колебаний батарейной конструкции может быть представлена передаточными функциями и амплитудно-частотными характеристиками Для одномерной линейной динамической задачи при детерминированных динамических воздействиях, параметры вибрации определяются следующей зависимостью [4];

$$X(\omega) = H(\omega)\cdot F(\omega) < [X(\omega)], \qquad (1)$$

где $X(\omega)$ – спектр параметров вибрации; $H(\omega)$ – передаточная функция системы; $F(\omega)$ – спектр динамических воздействий; $[X(\omega)]$ – спектр предельных (нормативных) параметров вибрации.

Под передаточной функцией $H(\omega)$ понимается зависимость параметра механической системы от единичного динамического воздействия, которыми являются силовые и кинематические воздействия. Зависимость (1) представляет собой общий вид диагностической модели, связывающей диагностический признак $X(\omega)$ с динамическими воздействиями, характеризующими структурные параметры технического состояния $F(\omega)$, посредством передаточной функции $H(\omega)$. Предельное состояние диагностического признака характеризует правая часть уравнения $[X(\omega)]$.

Дефекты, повреждения, отклонения, возникающие в процессе эксплуатации БМ, приводят к появлению динамических воздействий, являющихся функцией частоты.

Расчетная модель для определения собственных частот колебаний прижимного вала показана на рис. 1, где обозначено: $C_{л,п}$ – коэффициент жесткости системы прижима валов соответственно с лицевой и приводной сторон; $h_{л,п}$ – коэффициент неупругих сопротивлений; $C_о$, h_0 – распределенные коэффициенты жесткости и неупругих сопротивлений в захвате пресса; $m_в$, $\theta_в$ – масса и момент инерции вала относительно центра масс; l – расстояние между опорами вала; b – длина зоны контакта прессовых валов; О – центр масс вала; z_0 – перемещение центра масс вала; φ – угол поворота вала относительно центра масс.

При симметричном расположении центра масс вала ($C_л = C_п$; $h_л = h_п$) его свободные колебания опишутся следующими взаимно независимыми однородными дифференциальными уравнениями:

$$m\ddot{z} + (h_л + h_п + h_0 b)\dot{z} + (C_л + C_п + C_0 b)z = 0;$$

$$\theta\ddot{\varphi} + \left((h_л + h_п)\frac{l}{2} + h_0\frac{b^3}{6}\right)\dot{\varphi} + \left((C_л + C_п)\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_0\frac{b^3}{6}\right)\varphi = 0. \qquad (2)$$

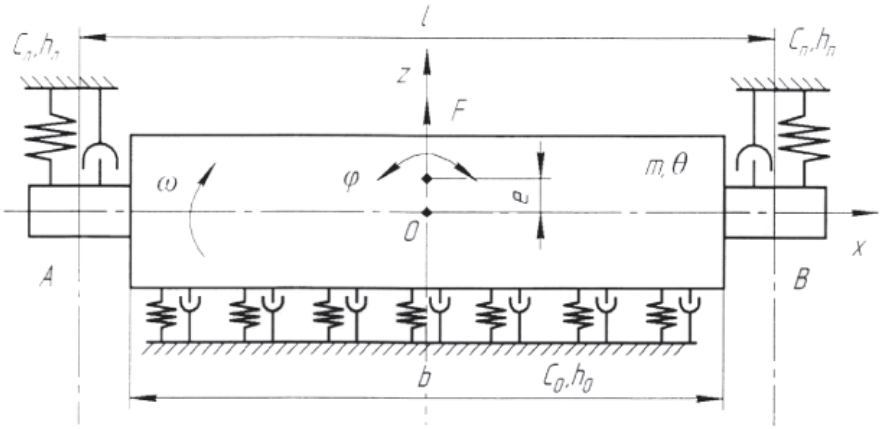


Рис. 1. Динамическая модель прижимного вала пресса

Откуда собственные частоты вертикальных и поворотных колебаний симметричного прижимного вала:

$$\omega_{0z} = \sqrt{\frac{(C_л + C_п + C_0 b)}{m}};$$

$$\omega_{0\varphi} = \sqrt{\frac{(C_л + C_п)\left(\frac{l}{2}\right)^2 + C_0 \frac{b^3}{6}}{\theta}}. \qquad (3)$$

При пневматическом и гидравлическом прижимах подшипниковые узлы прижимных валов устанавливаются на шарнирных рычагах (рис. 3). Маятниковые колебания валов на рычагах несколько изменяют собственные частоты колебаний и определяются по формулам

$$(\omega'_{0z})^2 = \omega_{0z}^2 + \frac{g}{a}\cos\alpha;$$

$$(\omega'_{0\varphi})^2 = \omega_{0\varphi}^2 + \gamma\frac{g}{a}\cos\alpha, \qquad (4)$$

где γ – параметр, характеризующий распределение масс вала,

$$\gamma = \frac{ml^2}{4\theta};$$

a – расстояние от оси вращения вала до оси вращения рычага; α – угол наклона маятника от вертикальной оси (рис. 2).

Рассмотрим только некоторые наиболее характерные для батарейных конструкций СПТС.

Структурные параметры ТС прессов:

1) неуравновешенность масс валов;

2) некруглость сечений сопрягаемых валов;

3) кинематические и параметрические воздействия подшипниковых опор на валы;

4) перекосы («ножницы») осей сопрягаемых валов, перекосы подшипников качения;

5) отличие коэффициентов жесткости прижимных устройств с лицевой и приводной сторон машины;

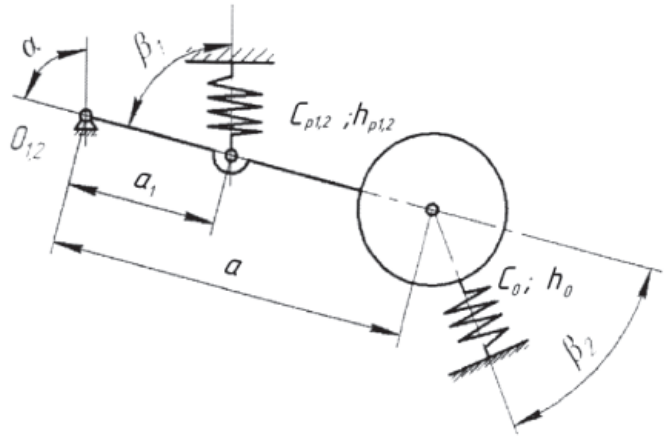


Рис. 2. Расчетная схема вала на рычагах

СПТС 1; 2; 3; 4 проявляются также в каландрах.

СПТС возбуждают собственные и вынужденные, параметрические и самовозбуждаемые колебания прижимных валов прессов.

Валы прессов и каландров могут иметь динамическую неуравновешенность, включающую статическую и моментную неуравновешенность. Динамические нагрузки на подшипниковые опоры возбуждают их вибрацию на оборотной частоте и частотах, кратных оборотной частоте, причем 70-80 % мощности вибрации сосредоточено на оборотной частоте. Динамический признак неуравновешенности валов – вибрация подшипниковых опор на оборотной частоте. Если вибрация корпусов подшипников с лицевой и приводной сторон синфазны, то вал неуравновешен статически, не совпадает по фазе – динамически, а если в противофазе, то вал имеет моментальную неуравновешенность. Также следует отметить, что колебания подшипниковых опор в противофазе возбуждаются также при неравенстве коэффициентов жесткости соответственно подшипниковых опор вала с приводной и лицевой сторон БМ и систем прижима подвижных валов. Дополнительный диагностический признак неуравновешенности валов – зависимость параметров вибрации от частоты их вращения.

Один из ощутимых источников вибрации валов прессов и каландров – кинематическое и параметрическое воздействие подшипников качения, которое происходит на подшипниковых частотах $f_п$, определяемых по формуле

$$f = \frac{f_в}{2}\left(1 - \frac{d_{тк}}{d_0}\cos\beta\right)z, \qquad (5)$$

где $f_в$ – частота вращения вала, об/с; $d_{тк}$ – диаметр тела качения, мм; d_0 – диаметр окружности по осям тел качения, мм; β – угол контакта тел качения; z – количество тел качения в одном ряду подшипника.

Вибрация валов на подшипниковых частотах и гармониках подшипниковой частоты, модулированных оборотными частотами, резко увеличивается из-за переменности радиального зазора в подшипнике, возникающей из-за разноразмерности тел качения и нецилиндричности посадочных мест подшипника, а также из-за возможности маятникового резонанса, когда подшипниковая частота совпадает с маятниковой собственной частотой колебаний подшипника, определяемой по формуле (6)

$$f_{0м} = 2\pi\sqrt{\frac{2g}{\Delta}}, \qquad (6)$$

где g – ускорение свободного падения; Δ – радиальный зазор подшипника.

Диагностические признаки перекоса осей валов в прессах и каландрах. При неудовлетворительном монтаже валов в батарейных конструкциях возникает перекос осей валов, так называемые «ножницы», который является одной из частых причин вибрации конструкции, трудно распознаваемых на производстве.

В контакте по образующей цилиндров находятся два вала батареи диаметрами d_1 и d_2 (рис. 3). Приводной вал 1 передает вращение валу 2 посредством сил трения. Линейное давление между валами q, кН/м, коэффициенты трения движения $f_д$ и покоя $f_п$ в зоне контакта валов. Причем $f_п > f_д$. Подшипниковые узлы имеют упругую податливость в осевом направлении с коэффициентами жесткости соответственно C_1 и C_2. Угловая частота вращения входного вала ω; масса валов m_1 и m_2; угол перекоса осей валов γ, величины осевого зазора в подшипниках, осевой жесткости корпусов подшипников.

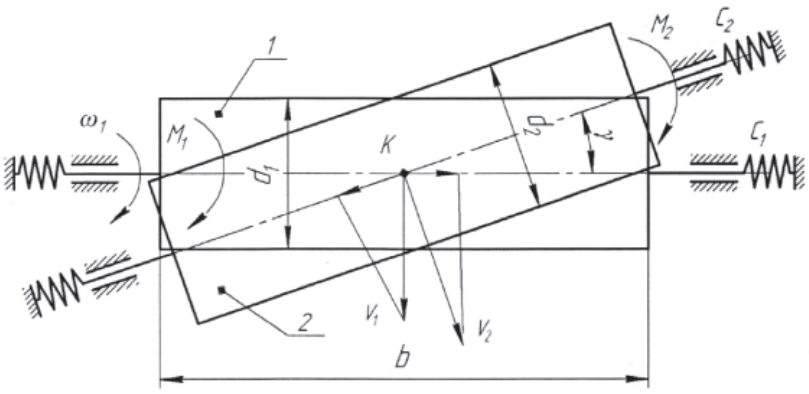


Рис. 3. Валы с перекрещивающимися осями

Диагностическим признаком перекоса осей валов батарейных конструкций является импульсная вибрация со случайной периодичностью в несколько секунд на частотах собственных колебаний составных частей оборудования.

Структурные параметры технического состояния и диагностические признаки каландров

Качественные показатели бумажного полотна, в частности его маркировка и дробление, зависят от технологических параметров производства бумаги и от СПТС каландров.

К технологическим факторам относятся неоднородность плотности и рыхлости бумажного полотна. Колебания массы бумажного полотна происходят, как правило, на частотах пульсации давления бумажной массы, генерируемой оборудованием массоподводящей системы. Колебания плотности бумажного полотна обычно генерируются на оборотных частотах валов прессов. Длина волны $l_в$ неоднородных свойств бумаги, поступающей на каландрирование, зависит от скорости БМ на каландре $V_М$, м/мин, и частоты колебаний неоднородных свойств бумаги $f_п$, Гц, и определяется по формуле (7)

$$l_в = \frac{V_M}{60 f_п}, \text{ м.} \quad (7)$$

В тех случаях, когда длина волны равна половине периметра окружности сечения вала, возникает критическое состояние, когда впадины или выпуклости волны одновременно входят в оба захвата вала. Положение усугубляется, когда несколько валов каландра имеют одинаковый диаметр. Возникает своеобразный импульсный процесс, возбуждающий вибрацию валов на собственных частотах, модулируемых удвоенными частотами вращения валов [1].

Критические скорости БМ, при которых возбуждаются интенсивные колебания валов на собственных частотах, определяются по формуле (8)

$$V_{M\text{кр}} = 30\pi d_в f_п. \quad (8)$$

При работе каландров проявляются особенно отчетливо и часто некруглость сечений валов или как частный случай – огранка рабочей поверхности валов.

Кроме того, встречаются:

– несоответствие профиля бомбировки валов кривой их прогиба;

– некачественная перешлифовка, при которой остаются следы огранки, наклепа и других СПТС валов.

Под огранкой рабочей поверхности валов понимается местное отклонение от круглости сечений по всей длине вала (грань, вмятина). При огранке, перекосе и ряде других СПТС каландров возникают импульсные воздействия на батарею валов каландров, при которых возбуждаются колебания валов на собственных частотах батареи.

В статье приведены сведения о структурных параметрах технического состояния и диагностических признаках батарейных конструкций бумагоделательных машин, необходимых при эксплуатации бумагоделательных машин.

Список литературы

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа. 1980. – 408 с.

2. Бумагоделательные и картоноделательные машины / под ред. Н.Н. Кокушина, В.С. Курова. – С.-Петерб. гос. технолог. ун-т растительных полимеров. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. – 588 с.

3. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.

4. Санников А.А. Решение проблемы виброзащиты и вибродиагностики бумагоделательного и лесопильного оборудования: дис. … д-ра техн. наук: 05.21.03; 05.21.05. – Екатеринбург, 2002. – 424 с.

5. Сервисное обслуживание в ЦБП: сборник трудов международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 19–20 ноября 2009 года / под ред. проф. А.Н. Иванова. – СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 2009. – 48 с.

References

1. Biderman V.L. *Teoriya mekhanicheskikh kovebaniy* [Theory of mechanical vibrations]. M.: Highest school. 1980. 408 p.

2. *Bumagodelatel'nye i cartonodelatel'nye mashiny* [papermaking and cardboardmaking machines]. ed. N.N. Kokushin, V.S. Kurov; St. Petersburg state. technologist. univ of Plant Polymers. SPb .: Publishing House of the Polytechnic University, 2008. 588 p.

3. Goldin A.S. *Vibratsiya rotornyh mashin* [The vibration of rotating machines]. M.: Machinery, 2000. 344 p.

4. Sannikov A.A. *Reshenie problem vibrozaschity i vibrodiagnostiki bumagodelatel'nogo i lesopil'nogo oborudovaniya* [Solving the problem of vibration protection and vibration diagnostics for papermaking and sawmill equipment]: doctoral dissertation: 05.21.03;05.21.05. Yekaterinburg, 202. 404 p.

5. *Servisnoe obsluzhivanie v TSBP: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy conferentsii* [Service in a pulp and paper industry]: Proceedings of the international scientific-practical conference. St. Petersburg, 19–20 November 2009 / Ed. prof. A.N. Ivanov. Saint-Petersburg.: SPbGTURP, 2009. 48 p.

Рецензенты:

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург;

Глухих В.В., д.т.н., профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.

УДК 621.393.3

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНВАРИАНТНОГО ЭХОКОМПЕНСАТОРА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ

Абрамов С.С.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Новосибирск, e-mail: abramov@sibsutis.ru

Дуплексная передача сигналов по каналам связи с двухпроводным окончанием широко используется в системах телекоммуникаций. При разработке дуплексных систем важной задачей является компенсация эхосигналов передатчика, возникающих на входе приёмника из-за неидеальности развязки трактов передачи и приёма как на ближнем, так и на дальнем конце связи. Соответственно, говорят о ближнем и дальнем эхе. Наиболее широко используемым в настоящее время способом подавления эхо-сигналов является компенсационный метод, позволяющий осуществлять передачу и приём сигналов в общей полосе частот. Суть его состоит в генерации копий сигналов эха и вычитании их из поступающей на вход приёмника суммы сигналов эха и сигналов от противоположной стороны системы передачи. Генерация копий сигналов эха может осуществляться, например, с помощью модели эхотракта в виде трансверсального фильтра или путём выборки необходимых образцов эхосигналов из блока памяти при табличном методе компенсации. В первом случае для работы эхокомпенсатора требуется производить большое количество операций умножения и сложения, а во втором – необходим большой объём памяти для хранения всех возможных образцов эхосигналов. Необходимость уменьшения этих недостатков стимулирует поиск других методов эхокомпенсации. В данной работе исследуется новый класс инвариантных эхокомпенсаторов, которые используют основной инвариант эхотракта – отношение длин векторов сигналов одинаковой формы (отличающихся только скалярным множителем). Однако у базовых схем инвариантных эхокомпенсаторов отсутствует свойство адаптивности. Автор предлагает способ модернизации, обеспечивающий свойство адаптивности.

Ключевые слова: инвариантные эхокомпенсаторы, дуплексные системы связи, свойство адаптивности

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF THE INVARIANT ECHO CANCELLER IN A CHANGING LINK PARAMETERS

Abramov S.S.

Siberian State University of Telecommunications and Informatics Sciences, Novosibirsk, e-mail: abramov@sibsutis.ru

Duplex signaling channels on the two-wire end is widely used in telecommunication systems. In the development of duplex systems is an important task echo cancellation transmitter arising at the receiver input of non-ideal decoupling paths of transmission and reception on the near and the far end of the link. Consequently, talking about the near and far echo. The most widely used method is currently echo cancellation is a compensation method to transmit and receive signals in a common frequency band. Its essence consists in the generation of copies of the echo signals and subtract them from the input to the receiver sums the echo signals and the signals from the opposite side of the transmission system. The generation of copies of the echo signals may, for example, using a model of the echo path in the form of a transversal filter, or by sampling the necessary samples echoes from the memory table with the payment method. In the first case for the echo canceller is required to produce a large number of multiplications and additions, and the second – requires a large amount of memory to store all possible samples of the echo signal. The need to reduce these shortcomings stimulates the search for other methods of echo cancellation. In this paper, we study a new class of invariant echo compensators that use the basic invariant echo path – the ratio of the lengths of the vectors of signals of the same shape (which differ only by a scalar factor). However, the basic schemes invariant echo canceller is not the property of adaptability. We offer a way to modernization, the property provides adaptability.

Keywords: invariant echo cancellers, duplex communication system, adaptability property

В настоящее время существуют несколько различных способов эхокомпенсации, отличающиеся сложностью реализации, точностью компенсации и т.п. Одним из способов является инвариантная эхокомпенсация, подкупающая своей простотой реализации. Однако она мало изучена, поэтому представляет научный и практический интерес оценка количественных характеристик и параметров, что и проделано в данной работе.

В реальных условиях работы инвариантного эхокомпенсатора следует учитывать воздействие на режим его функционирования множества факторов: изменения температуры, изменения параметров используемого канала связи и т.д. Очевидно, что в результате этих неконтролируемых изменений будет происходить варьирование параметров эхотрактов.

Оценим, каким образом это повлияет на качество работы инвариантного эхокомпенсатора, а именно на величину погрешности компенсации эха.

Для этого рассмотрим преобразования отсчетов сигналов в упрощенной схеме инвариантного эхокомпенсатора (рис. 1).

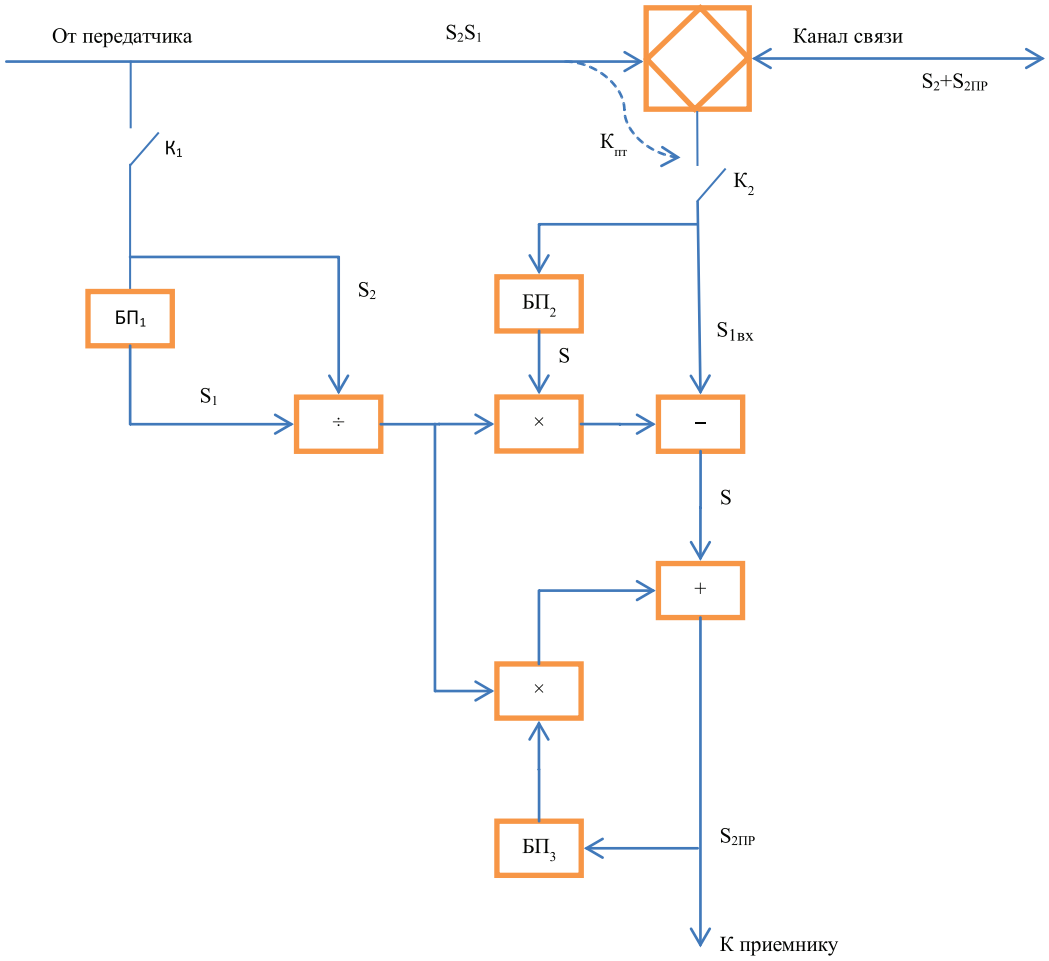


Рис. 1. Упрощенная схема инвариантного эхокомпенсатора

В этой схеме компенсация эха осуществляется путем обработки временных отсчетов сигналов, которые формируются ключами $К_1$ и $К_2$.

В блоках памяти $БП_1$, $БП_2$ и $БП_3$ осуществляется хранение временных отчетов в течение времени, равного интервалу дискретизации. Эта упрощенная схема работает следующим образом.

Перед сеансом связи схема подвергается обучению. С этой целью передатчик передает обучающий короткий импульс $S_{ОБ}$, который проходит через паразитный эхотракт дифференциальной системы и записывается в блок памяти $БП_2$ в виде импульса

$$S'_{ОБ} = K_{ПТ}\, S_{ОБ},$$

где $K_{ПТ}$ – коэффициент ослабления импульсов паразитного эхотракта. Блок памяти $БП_3$ в это время обнулен. Облучающий импульс через ключ $К_1$ поступает также в блок памяти $БП_1$. Затем начинается рабочий режим.

Рассмотрим передачу двух следующих друг за другом временных отсчетов S_1 и S_2 передаваемого сигнала. Первый отсчет будет передан в канал, кроме того, он пройдет через паразитный эхотракт и поступит на вход вычитателя вместе с отчетом $S_{1ПР}$ сигнала, принимаемого от противоположной стороны. Таким образом, на верхний вход вычитателя поступит следующая сумма:

$$S^{-}_{1ВХ} = S_{1эхо} + S_{1ПР} = K_{ПТ} S_1 + S_{1ПР}. \qquad (1)$$

На второй вход вычитателя придет сигнал

$$S^{-}_{2ВХ} = \frac{S_1}{S_{ОБ}} S'_{ОБ} = \frac{S_1}{S_{ОБ}} K_{ПТ} S_{ОБ} = K_{ПТ} S_1. \qquad (2)$$

На выходе вычитателя появится следующий результат:

$$S^{-}_{ВЫХ} = S^{-}_{1ВХ} - S^{-}_{2ВХ} = K_{ПТ} S_1 + S_{1ПР} - K_{ПТ} S_1 = S_{1ПР}. \qquad (3)$$

Как видно из результата, на данном этапе имеет место полное подавление эха.

Продолжим анализ работы схемы на втором этапе, когда от передатчика поступает второй отсчет S_2.

В конце первого такта величина $S_{1ЭХО} + S_{1ПР} = К_{ПТ}S_1 + S_{1ПР}$ была записана в блок памяти $БП_2$, $S_{1ПР}$ – в $БП_3$, а S_1 – в $БП_1$. На втором такте на первый вход вычитателя поступит сумма

$$S^-_{1ВХ} = S_{2ЭХО} + S_{2ПР} = K_{ПТ}S_2 + S_{2ПР}, \quad (4)$$

на второй вход

$$S^-_{2ВХ} = \frac{S_2}{S_1}\left(K_{ПТ}S_1 + S_{1ПР}\right) = K_{ПТ}S_2 + \frac{S_{1ПР}S_2}{S_1}. \quad (5)$$

На выходе вычитателя имеем

$$S^-_{2ВЫХ} = S^-_{1ВХ} - S^-_{2ВХ} = K_{ПТ}S_2 + S_{2ПР} - K_{ПТ}S_2 - \frac{S_{1ПР}}{S_1} = S_{2ПР} - \frac{S_{1ПР}S_2}{S_1}. \quad (6)$$

На выход сумматора результат равен

$$S^+_{ВЫХ} = S^-_{ВЫХ} + \frac{S_2}{S_1}\cdot S_{1ПР} = S_{2ПР} - S_{1ПР}\cdot\frac{S_2}{S_1} + S_{1ПР}\cdot\frac{S_2}{S_1} = S_{2ПР}. \quad (7)$$

Как показывает расчет и на втором такте, эхо на выходе сумматора эхокомпенсатора (на входе приемника) по-прежнему отсутствует.

Нетрудно убедиться в том, что это будет справедливо и для всех последующих тактов работы.

Однако это верно до тех пор, пока не изменятся параметры эхотракта, например вследствие изменения параметров подключенного к дифференциальной системе канала связи.

Проанализируем последствия изменения коэффициентов ослабления паразитного эхотракта на величину $\Delta К_{ПТ}$, которое может произойти из-за изменений параметров канала связи во время рабочего режима.

Предположим, что это произошло на j-м такте работы эхокомпенсатора. При этом на выходе вычитателя появится погрешность компенсации эха:

Эта погрешность поступает в нижний контур и начинает в ней циркулировать, ответвляясь при этом на вход приемника. Через n тактов после изменения параметров канала величина погрешности Δ'_{j+n} во втором контуре будет равна

$$\Delta'_{j+n} = \Delta_j \frac{S_{j+1}}{S_j}\cdot\frac{S_{j+2}}{S_{j+1}}\cdots\frac{S_{j+n}}{S_{j+n-1}} = S_{j+n}\frac{\Delta K_{ПТ}}{S_j}. \quad (9)$$

Таким образом, возникновение неустраняющейся погрешности эхокомпенсации вследствие изменения параметров эхотракта говорит об отсутствии у инвариантных эхокомпенсаторов свойства адаптивности, что ограничивает возможность их использования в каналах связи с существенными изменениями параметров во время сеанса связи.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что адаптация инвариантного эхокомпенсатора возможна, если применить новую адаптивную структурную схему инвариантного эхокомпенсатора которая представлена на рис. 2.

Для анализа и получения результатов экспериментального исследования адаптивного инвариантного эхокомпенсатора была разработана моделирующая программа, написанная в среде Matlab, для имитации процессов, происходящих при обучении и дальнейшей работе предложенной схемы адаптивного инвариантного эхокомпенсатора.

Качество работы предложенной схемы оценивается величиной среднего квадратичного отклонения (СКО) при разных уровнях шума.

Были рассмотрены три варианта организации работы схемы эхокомпенсатора при введении помехи в виде белого шума. В первом случае эхокомпенсатор без преобразований, то есть только при наличии дифференциальной системы с изменяющимися параметрами; во втором – эхокомпенсатор плюс схема адаптации и схема вычитания передаваемого сигнала; в третьем – эхокомпенсатор и схема адаптации. Для наглядного сравнения также показаны изменения помехи в виде белого шума.

В качестве исследуемого сигнала был взят синусоидальный сигнал как основной, однако для сравнения был исследован при таких же условиях сигнал прямоугольной формы.

$$\Delta j = S_{Эj} - S_{(j-1)Э}\frac{S_j}{S_{(j-1)}} = S_j\left(K_{ПТ} + \Delta K_{ПТ}\right) - S_{(j-1)}K_{ПТ}\frac{S_j}{S_{(j-1)}} = S_j K_{ПТ} + S_j\Delta K_{ПТ} - S_{(j-1)}K_{ПТ}\frac{S_j}{S_{(j-1)}} = S_j K_{ПТ} + S_j\Delta K_{ПТ} - K_{ПТ}S_j = S_j\Delta K_{ПТ}. \quad (8)$$

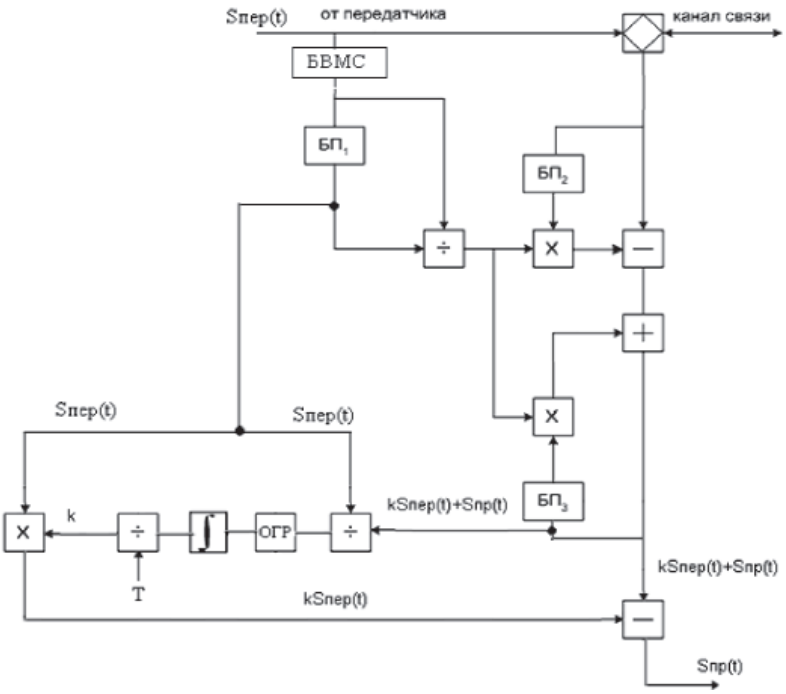


Рис. 2. Схема адаптивного инвариантного эхокомпенсатора

Зависимость СКО от количества испытаний при синусоидальной форме сигнала

n	30	50	100	500	1000	5000	10000	50000
vv	0,5988	2,0124	0,8778	2,1196	2,276	2,1224	2,1318	2,1463
vv1	2,2587	0,6828	0,7797	3,7203	4,4549	4,2234	4,3432	4,2189
vv2	0,3356	0,3264	0,3109	0,3601	0,3617	0,3547	0,3562	0,3563
vv3	3,251	3,325	2,4185	0,5894	0,3625	0,356	0,3803	0,3577
y	20,6126	21,8382	22,7966	21,9027	21,561	21,6537	21,6685	21,7108

Используемые обозначения:
vv – эхокомпенсатор без преобразований;
vv1 – эхокомпенсатор, схема адаптации и вычитание передаваемого сигнала;
vv2 – помеха в виде белого шума;
vv3 – эхокомпенсатор, схема адаптации;
y – уровень вводимого шума, дБ;
n – количество испытаний.

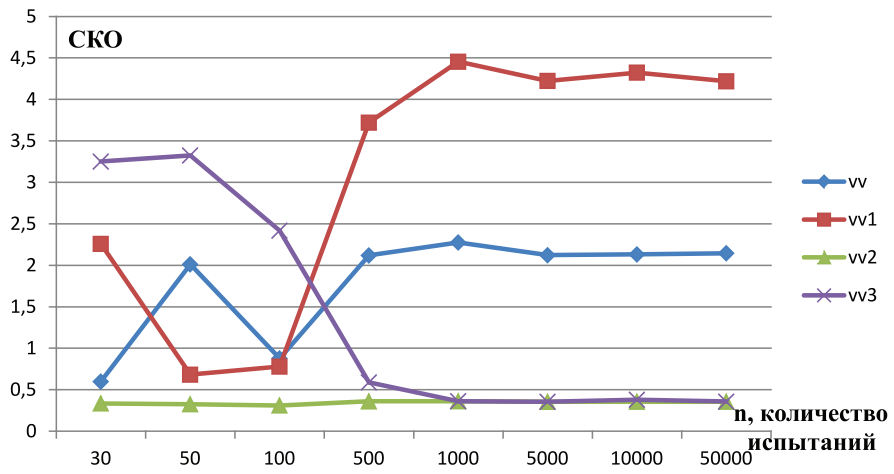


Рис. 3. График зависимости СКО от количества испытаний при синусоидальном сигнале

Результаты исследования влияния помехи в виде белого шума на качество эхокомпенсации при различных вариантах организации работы схемы представлены в таблице, а графики исследования показаны на рис. 3.

Рассмотрим зависимость СКО от количества проведенных испытаний.

Для синусоидального сигнала: при коэффициенте рассогласования дифференциальной системы, равном 0,5, и дисперсии белого шума, равной 0,1.

Полученные результаты, показывающие зависимость средней квадратичной ошибки (СКО) от дисперсии белого шума при различных формах сигналов, подтверждают предыдущие показания, то есть доказывают, что предложенная схема адаптивного инвариантного эхокомпенсатора является работоспособной в условиях действия помехи в виде белого шума.

Список литературы

1. Лебедянцев В.В. Разработка методов инвариантной передачи сообщений по линейным каналам связи // отчет по научно-исследовательской работе. – Новосибирск, СибГУТИ, 2002.

2. Лебедянцев В.В., Морозов Е.В. Оценки информационной защищенности и помехоустойчивости инвариантной системы связи // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1, часть 1. – С. 152–155.

3. Цыбулин М.К. Подавление электрического эха в телефонных каналах. – М.: Радио и связь, 1990. – 112 с.

4. Шувалов В.П., Захарченко Н.В., Шварцман В.О. Передача дискретных сообщений – М.: Радио и связь, 1990. – 462 с.

5. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции (формулы, графики, таблицы). – М., 1968. – 344 с.

References

1. Lebedjancev V.V. Razrabotka metodov invariantnoj peredachi soobshhenij po linejnym kanalam svjazi // otchet po nauchno-issledovatelskoj rabote. Novosibirsk, SibGUTI, 2002.

2. Lebedjancev V.V., Morozov E.V. Ocenki informacionnoj zashhishhennosti i pomehoustojchivosti invariantnoj sistemy svjazi // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravlenija i radiojelektroniki, no. 1, chast 1, 2010. pp. 152–155.

3. Cybulin M.K. Podavlenie jelektricheskogo jeha v telefonnyh kanalah. M.: Radio i svjaz, 1990. 112 p.

4. Shuvalov V.P., Zaharchenko N.V., Shvarcman V.O. Peredacha diskretnyh soobshhenij. M.: Radio i svjaz, 1990. 462 p.

5. Janke E., Jemde F., Ljosh F. Specialnye funkcii (formuly, grafiki, tablicy). M., 1968. 344 p.

Рецензенты:

Пальчун Ю.А., д.т.н., профессор, ученый секретарь, Сибирский государственный ордена Трудового Красного знамени научно-исследовательский институт метрологии, г. Новосибирск;

Сединин В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования», ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК В ПО MATLAB

Акишев М.С., Петров М.Н., Анаров М.Ж.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: mnp_kafaes@mail.ru

В работе рассматриваются разработанные программы для моделирования геометрии антенных решёток. Представлена программа расчёта диаграммы направленности антенн в формате 3D моделирования в ПО MATLAB. Программа создана для автоматизации задачи получения диаграммы направленности антенн, в 2D- и 3D форматах. Разработана программа моделирование фазированных антенных решёток (ФАР) со случайным расположением элементов массива. Разработана программа моделирования фазированных антенных решёток (ФАР) с равноудалёнными элементами массива. Данная программа позволяет проводить моделирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток (ФАР) различных массивов в равно разнесённом расположении (клеточном). Высокое качество приёма сигналов позволит повысить безопасность полётов космических аппаратов и космонавтов. Особенно это важно при исследовании дальнего космоса.

Ключевые слова: геометрия размещения, моделирование антенн, оптимизация размещения, надёжность обработки информации, проблемы приёма, безопасность полётов, космос

MODELLING OF GEOMETRY OF ANTENNA LATTICES IN ON MATLAB

Akishev M.S., Petrov M.N., Anarov M.Z.

Reshetnev Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, e-mail: mnp_kafaes@mail.ru

In work the developed programs for modeling of geometry of antenna lattices are considered. The program of calculation of the directional pattern of antennas in the 3D format of modeling is presented to PO MATLAB. The program, is created for automation of a problem of obtaining the directional pattern of antennas, in 2 of D and 3D-formats. The program modeling of the Phased Antenna Lattices (PAL) with a casual arrangement of elements of the massif is developed. The program modeling of the Phased Antenna Lattices (PAL) with equidistant elements of the massif is developed. This program allows to carry out modeling of the directional pattern of the Phased Antenna Lattices (HEADLIGHTS) of various massifs in equally carried arrangement (the cellular). High quality of reception of signals will allow to increase safety of flights of spacecrafts and astronauts. Especially it is important at research of distant space.

Keywords: placement geometry, modeling of antennas, placement optimization, reliability of information processing, reception problem, safety of flights, space

Вопросу планирования и оптимизации при развёртывании элементов радиотелескопа на определённом, строго ограниченном участке, посвящено много работ. Цель данной статьи состоит в представлении результатов по созданию моделей анализа и оптимизации антенных решеток в среде MATLAB [1–5].

Программа для расчёта диаграммы направленности антенн в формате 3D моделирования в ПО MATLAB зарегистрирована в РОСПАТЕНТЕ [4]. Программа создана для автоматизации задачи получения диаграммы направленности антенн в 2 D и 3D форматах. Программа позволяет получить диаграмму направленности антенны в форматах 2 D и 3D, в объёмном виде в цветовом представлении.

Результаты действия программы представлены на рис. 1–3.

Моделирование фазированных антенных решёток (ФАР) со случайным расположением элементов массива

Программа, представленная в работе [3], позволяет проводить моделирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток (ФАР) в не равно разнесённом расположении (случайном). Программа отображает направление и мощность в излучаемом направлении энергии, а также отображает разность мощности излучаемой главным лучом от средней мощности боковых лепестков. Программный код написан на программном обеспечении Matlab 2010. Программа учитывает, что за массивом антенн стоит экран, который не даёт отразиться задним лепесткам. Применяется для проектирования и моделирования антенн различного назначения. Действие программы представлено на рис. 4.

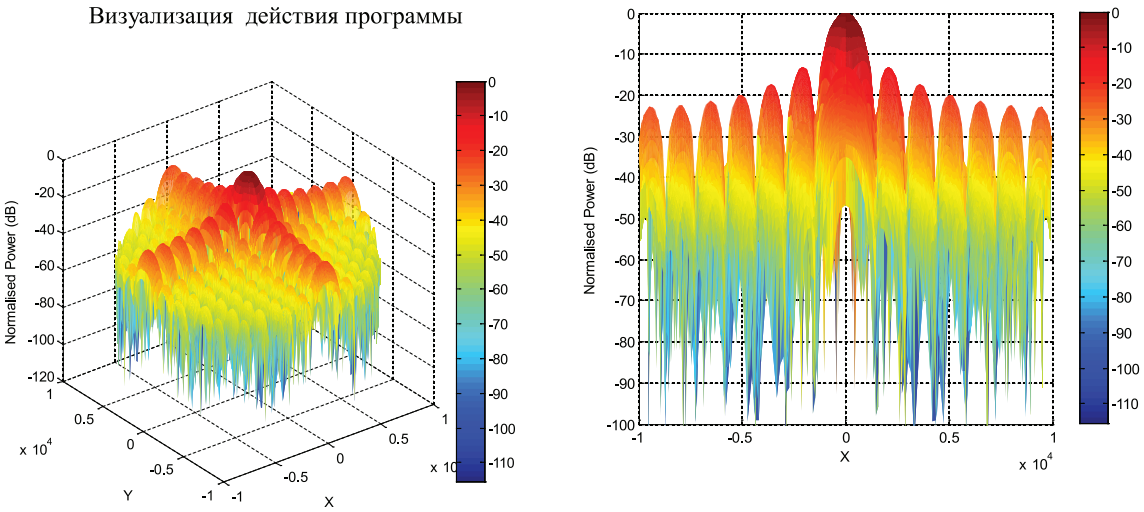


Рис. 1. 3D вид и вид сбоку диаграммы направленности ФАР, состоящих из массива 14×14 изотропных антенн

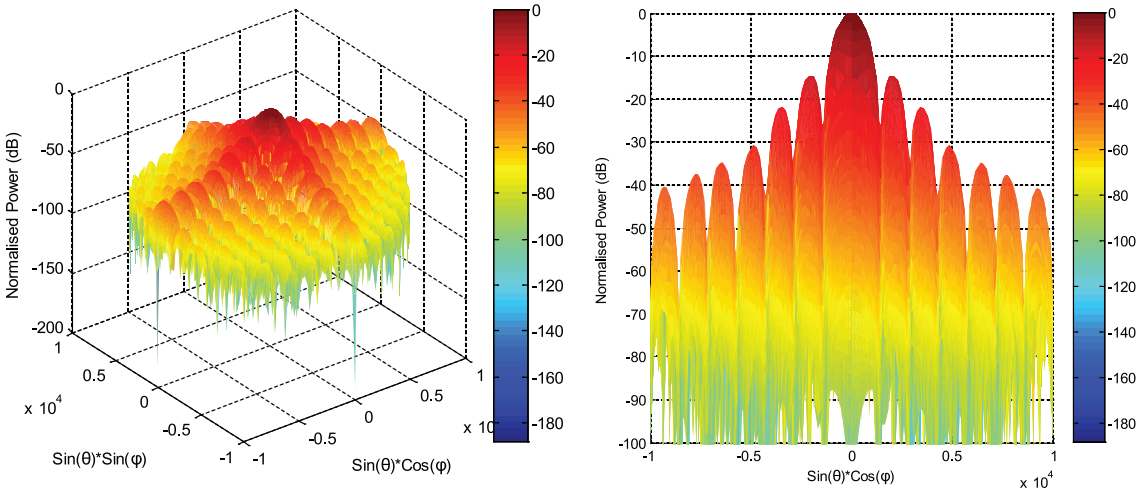


Рис. 2. 3D вид и вид сбоку диаграммы направленности ФАР, состоящих из массива 14×14 направленных антенн, каждый элемент которого имеет усиление в 15дБи

Моделирование фазированных антенных решёток (ФАР) с равноудалёнными элементами массива

Данная программа позволяет проводить моделирование диаграммы направленности фазированных антенных решёток (ФАР) различных массивов в равно разнесённом расположении (клеточном) [5]. Программа отображает направление и мощность в излучаемом направлении энергии, а также показывает в градусах ширину как главного, так и боковых лепестков. Программный код написан на программном обеспечении Matlab 2010. Программа учитывает, что за массивом антенн стоит экран, который не даёт отразиться задним лепесткам. Действие программы представлено на рис. 5. Область применения программ – при проектировании и моделировании антенн различного назначения, а также в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов. Программы обладают рядом преимуществ: простота реализации, использование широко распространённого программного обеспечения, малое время расчётов.

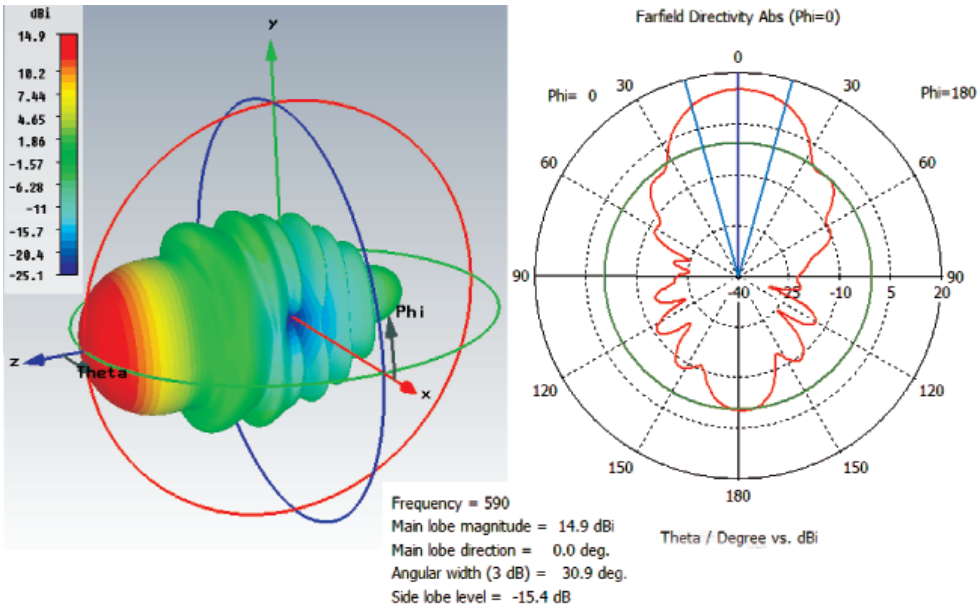


Рис. 3. 3D и 2D вид диаграммы направленности антенны волновой канал в ПО CST Microwave

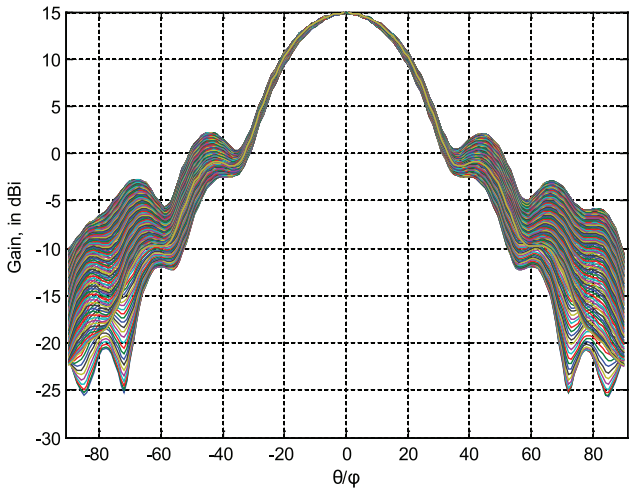


Рис. 4. Преобразованная диаграмма направленности в ПО Matlab

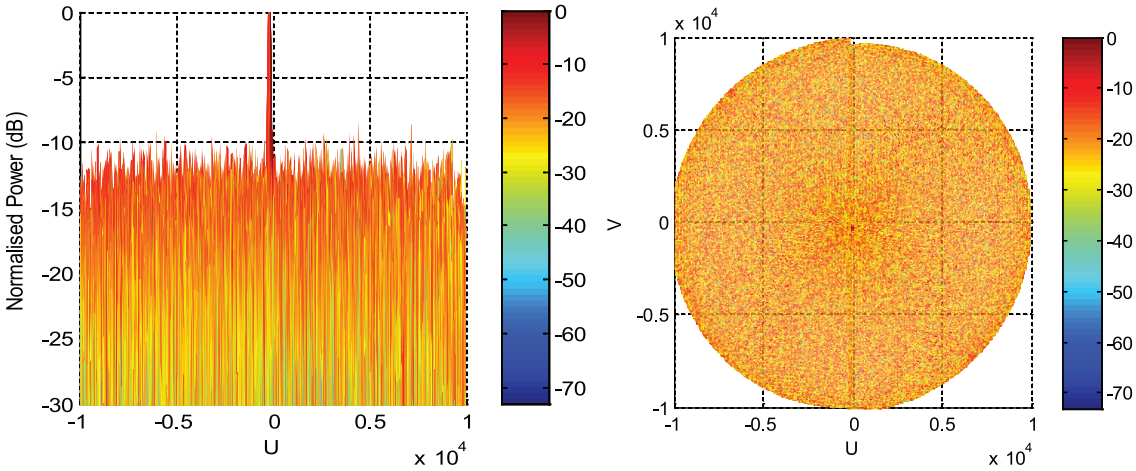


Рис. 5. 3D вид и вид сбоку диаграммы направленности ФАР, состоящих из массива из 196 хаотично разнесённых изотропных антенн

Список литературы

1. Петров М.Н., Акишев М.С.Использование фазированных антенных решёток (антенных массивов) для повышения качества обработки сигналов в радиоастрономии // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 3. ВИНИТИ РАН. – С. 70–76.

2. Петров М.Н., Акишев М.С. Планирование и оптимизация геометрии размещения панелей радиотелескопа // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 4. ВИНИТИ РАН. – С. 56–63.

3. Петров М.Н., Акишев М.С. Моделирование фазированных антенных решёток (ФАР) со случайным расположением элементов массива // Свидетельство РОСПАТЕНТ о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014660931 зарег. 20 октября 2014.

4. Петров М.Н., Акишев М.С. Преобразование Диаграммы направленности антенн в формате 3D моделирования в ПО MATLAB // Свидетельство РОСПАТЕНТ о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014662689, зарег. 05.12.2014.

5. Петров М.Н., Акишев М.С. Моделирование фазированных антенных решёток (ФАР) с равноудалёнными элементами массива // Свидетельство РОСПАТЕНТ о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014663094, зарег. 16.12.2014.

References

1. Petrov M.N., Akishev M.S.Ispolzovanie fazirovannyx antennyx reshyotok (antennyx massivov) dlya povysheniya kachestva obrabotki signalov v radioastronomii // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyx situacij. 2014. no. 3. VINITI RAN, Moskva pp. 70–76.

2. Petrov M.N., Akishev M.S. Planirovanie i optimizaciya geometrii razmeshheniya pa-nelej radioteleskopa // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyx situacij. 2014. no. 4. VINITI RAN, Moskva pp. 56–63.

3. Petrov M.N., Akishev M.S. Modelirovanie Fazirovannyx Antennyx Reshyotok (FAR) so sluchajnym raspolozheniem elementov massiva // Svidetelstvo ROSPATENT o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM. no. 2014660931 zareg. 20 oktyabrya 2014.

4. Petrov M.N., Akishev M.S. Preobrazovanie Diagrammy napravlennosti antenn v formate 3D modelirovaniya v PO MATLAB. // Svidetelstvo ROSPATENT o gosudar-stvennoj registracii programmy dlya EVM. no. 2014662689, zareg. 05.12.2014.

5. Petrov M.N., Akishev M.S. Modelirovanie Fazirovannyx Antennyx Reshyotok (FAR) s ravnoudalyonnymi elementami massiva // Svidetelstvo ROSPATENT o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM. no. 2014663094, zareg. 16.12.2014.

Рецензенты:

Антамошкин А.Н., д.т.н., профессор кафедры «Системный анализ», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет», г. Красноярск;

Малинкин В.Б., д.т.н., профессор кафедры «Системы передачи информации», ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск.

УДК 621.390

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ В СТРУКТУРЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА СОСТОЯНИЙ

Дулесов А.С., Кондрат Н.Н.

ФГОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан, e-mail: ninok@khsu.ru

В работе представлен метод, с помощью которого определяется количество информации в задачах расчета структурной надежности технической системы. Среди показателей структуры приняты вероятности состояний элементов системы, которые разделены по качественному признаку: работоспособное состояние и неработоспособное состояние. Такое разделение позволяет для каждого из состояний получать информации, необходимые для их сопоставления при оценках структурной надежности. Построены математические выражения определения информационной энтропии, в основу которых положен принцип направленного перебора состояний элементов. Дан пример, на котором показана работа метода перебора состояний. Предлагаемый метод позволяет на основе сопоставления результатов энтропии для различных структур, выбрать систему с более высоким уровнем структурной надежности. Выделены достоинства и недостатки метода.

Ключевые слова: метод перебора состояний, мера информации, информационная энтропия, структура технической системы

AMOUNT DEFINITION OF INFORMATION ENTROPY IN THE TECHNICAL SYSTEM STRUCTURE BY METHOD OF STATES SEARCH

Dulesov A.S., Kondrat N.N.

Katanov Khakass State University, Abakan, e-mail: ninok@khsu.ru

In work the method by means of which the information amount in problems of structural reliability calculation of technical system is presented. Among indicators of structure probabilities of system elements conditions which are shared on a qualitative sign are accepted: operable state and non-operable state. Such division allows receiving for each of states information necessary for their comparison to estimate of structural reliability. Mathematical expressions of determination of information entropy which basis the principle of the directed search of elements conditions are constructed. The example of a method of states search is given. The offered method allows to compare results of entropy for various structures, to choose system with higher level of structural reliability. Advantages and disadvantages of the method are described.

Keywords: method of states search, information measure, information entropy. structure of technical system

Рассматривая технические системы в процессе проектирования и эксплуатации, используя при этом критерии надежности, обращаются к рассмотрению структур, то есть к анализу структурной надежности. К системам с явно выраженными структурными связями относят электрические сети, трубопроводные системы, компьютерные сети и др. С позиции сохранения высокого уровня надежности таких систем пользуются общепринятыми методами расчета структурной надежности, например методами полного перебора состояний, дерева отказов, минимальных путей и сечений и другими. Фактически все они построены с использованием вероятностей безотказной работы p_i и отказа q_i элемента i системы. Применяя данные методы (при определенных условиях), можно выбирать структуру из рассматриваемого многообразия, удовлетворяющую требования по надежности.

Со структурной надежностью связывают такую составляющую состояния системы, как неопределенность информации, так как её количество обусловлено наличием связей и элементов системы, то есть топологией. Теория надежности может соприкасаться с теорией информации в плане определения её количества, необходимого для практики эксплуатации и проектирования. Например, согласно принципу К. Шеннона, информация – мера или количество неопределённости (информационной энтропии), связанное с результатом выбора из возможных альтернатив. Имея количество информации для той или иной структуры, можно судить об уровне содержащейся в ней неопределенности. Поэтому применение методов определения количества энтропии для структур технических систем может быть полезным с точки зрения оценки структурной надежности с позиции теории информации.

Далее предложим к рассмотрению математический метод перебора состояний, позволяющий определять количество информационной энтропии для различных структур технической системы.

Показатели структуры системы

Среди показателей выделяют вероятности безотказной работы и отказа элемента системы. Мера неопределенности информации непосредственно опирается на данные показатели. Для их определения строится (например, согласно [2, 3, 5]) статистический ансамбль. Используя его, определяют собственное значение информации $I = \log_2 N$, N – количество всевозможных состояний элементов. Величина I задана рядом распределения, представляющего собой совокупность всех возможных отрицательных значений собственных (частных) информаций I_i и соответствующих им вероятностей p_i [3]. Собственная информация является исходной для определения информационной (статистической) энтропии по Шеннону:

$$H = -\sum_{i=1}^{N} p_i \log_2 p_i = -\sum_{i=1}^{N} p_i I_i. \qquad (1)$$

Выражение (1) выполнимо при условии

$$\sum_{i=1}^{N} p_i = 1.$$

Вероятность, стоящая в (1) перед логарифмом, связывает информацию с энтропией и накладывает свой отпечаток на конечный результат. Дело в том, что в большинстве методов определения количества энтропии данная вероятность служит для усреднения количества энтропии. С позиции анализа структурной надежности, когда, с одной стороны, статистические характеристики неустойчивы, а с другой – события приходится рассматривать как совместные, усреднение может способствовать росту погрешности. Поэтому вопрос о том, какую величину вероятности поставить перед логарифмом энтропии Шеннона, тема для отдельных научных изысканий. Поэтому далее положим в основу классическое выражение (1), ограничившись предположением об усреднении энтропии.

Статистические характеристики структурной надежности, как было отмечено выше, учитывают вероятное появление противоположных событий, принадлежащих одному и тому же элементу системы. Наличие противоположных состояний и предположение о их независимости указывает на необходимость разделения в процессе расчетов значений энтропий по качественному признаку. В оценках структурной надежности качественный признак – «работа-отказ», поэтому процесс определения энтропии должен идти отдельно по каждому из противоположных состояний, поскольку при их слиянии утрачивается смысл оценки уровня надежности через меру информации [1].

Далее предложим к рассмотрению метод определения энтропии путем перебора состояний структуры с учетом качественного признака.

Определение энтропии методом перебора состояний элементов структуры

Вся совокупность состояний объекта складывается из потоков противоположных состояний,

$$N = N_p + N_q,$$

где N_p и N_q – количество состояний, относящихся к работе и отказу системы соответственно.

Определение энтропии для каждого из двух противоположных (непересекающихся) множеств состояний элементов зависит, с одной стороны, от числа элементов, состояния которых рассматриваются как независимые, с другой – от топологии структуры.

Рассмотрим вначале определение суммарной энтропии, когда для n элементов работоспособное и неработоспособное состояния независимы, а сумма их совместных комбинаций $N = 2^n$ – есть суммарная вероятность, равная единице. Например, для 2 элементов с вероятностями $p_i + q_i = 1$, $N = 2^2 = 4$, имеем комбинацию

$$p_1 p_2 + p_1 q_2 + p_2 q_1 + q_1 q_2 = 1. \qquad (2)$$

Согласно (1) и с учетом сумм независимых совместных событий по (2), суммарная энтропия двух независимых элементов:

$$\begin{aligned} H_{\Sigma 2} = {} & p_1 p_2 \log_2 p_2 + p_1 p_2 \log_2 p_1 + p_1 q_2 \log_2 q_2 + p_1 q_2 \log_2 p_1 + \\ & + p_2 q_1 \log_2 q_1 + p_2 q_1 \log_2 p_2 + q_1 q_2 \log_2 q_2 + q_1 q_2 \log_2 q_1. \end{aligned} \qquad (3)$$

Выражение (3), с учетом энтропий противоположных событий $H(p_i) = -p_i \log_2 p_i$, $H(q_i) = -q_i \log_2 q_i$ можно переписать в ином виде:

$$\begin{aligned} H_{\Sigma 2} = {} & p_1 H(p_2) + p_2 H(p_1) + p_1 H(q_2) + q_2 H(p_1) + \\ & + p_2 H(q_1) + q_1 H(p_2) + q_1 H(q_2) + q_2 H(q_1) = \\ & = H(p_1) + H(q_1) + H(p_2) + H(q_2). \end{aligned} \qquad (4)$$

Исходя из (4), суммарная энтропия системы в общем виде:

$$H_\Sigma = H_\Sigma(p) + H_\Sigma(q). \quad (5)$$

Перейдем к рассмотрению определения энтропии с учетом топологии структур. Для этого используем метод перебора состояний. Он основан на выделении групп состояний, в виде набора элементов структуры, которые визуально отражают состояние всей структуры от источника до приемника информации: для работоспособного состояния – группа содержит сквозную связь или связи источника с приемником; для неработоспособного – связь или связи отсутствуют.

Условие о независимости состояний позволяет формировать группы через произведение вероятностей нахождения элементов в соответствующих состояниях p и q. Так, при числе групп состояний, равном N_p, энтропия работоспособного состояния системы определится из выражения

$$H_\Sigma(p) = \sum_{j=1}^{N_p} \left\{ \prod_{l_j} p_l \prod_{k_j} q_k \log_2 \left(\prod_{l_j} p_l \prod_{k_j} q_k \right) \right\}, \quad (6)$$

где N_p – общее число работоспособных состояний, в каждом j-м из которых число исправных элементов равно l_j, а вышедших из строя – k_j.

Аналогично формируются группы событий неработоспособного состояния системы N_q для определения энтропии:

$$H_\Sigma(q) = \sum_{j=1}^{N_q} \left\{ \prod_{l_j} q_l \prod_{k_j} p_k \log_2 \left(\prod_{l_j} q_l \prod_{k_j} p_k \right) \right\}, \quad (7)$$

где N_q – общее число неработоспособных состояний, в каждом j-м из которых число неисправных элементов равно l_j, а исправных – k_j

Выражения (6) и (7) справедливы при условии

$$\sum_{j=1}^{N_p} \left(\prod_{l_j} p_l \prod_{k_j} q_k \right) + \sum_{j}^{N_q} \left(\prod_{l_j} p_l \prod_{k_j} q_k \right) = 1. \quad (8)$$

Величину $H_\Sigma(q)$ можно определить не только по выражению (7), но и в более простом виде, избегая формирования неработоспособных групп:

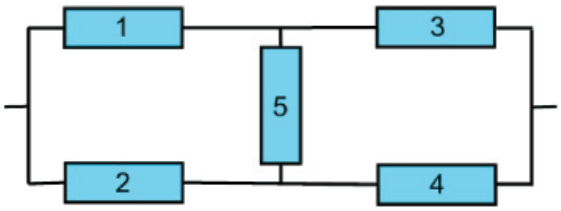
$$H_\Sigma(q) = H_\Sigma - H_\Sigma(p). \quad (9)$$

Расчет выполняется в три этапа:

- выявление множества возможных состояний;
- составление математических выражений по каждому из состояний;
- расчет информации с разделением по качественному признаку.

Пример

Определить количество информационной энтропии для мостиковой структуры, представленной на рисунке. Значения вероятностей: $p_i = 0{,}9$; $q_i = 1 - p_i = 0{,}1$.



Мостиковая структура (схема)

Предварительно составляется таблица состояний с их разделением на два непересекающихся множества, отвечающих работоспособному и неработоспособному состояниям всей структуры. Каждое из этих состояний характеризуется набором элементов в рабочем (с указанием 1) и отказавшем (с указанием 0) состояниях (таблица). Предположение о независимости функционирования элементов системы позволяет сформировать комбинации состояний (представленных в таблице), вероятность которых определяется произведением вероятностей состояний элементов.

Значения из таблицы позволяют определить суммарное количество энтропии работоспособного состояния по выражению (6), $H_\Sigma(p) = -2{,}1687$. Аналогично достраивается таблица для определения по (7), $H_\Sigma(q) = -0{,}1763$. Суммарная энтропия состояний

$$H_\Sigma 5 = H_\Sigma(p) + H_\Sigma(q) = -2{,}345.$$

Из представленного примера видно: энтропия работоспособных состояний гораздо выше энтропии неработоспособных состояний, что свидетельствует о высокой структурной надежности системы.

У предлагаемого метода имеются недостатки: «проклятие» размерности (из примера видно, что даже при сравнительно простой структуре применение метода перебора состояний сопряжено с громоздкими выкладками) и необходимость учета всех состояний (или по крайней мере, относящихся к одному из качественных состояний).

Данные о состояниях элементов мостиковой структуры

Номер состояния	Состояние элементов					Вероятность состояний	Выражения для определения энтропии N_p	Количество энтропии, бит
	1	2	3	4	5			
1	1	1	1	1	1	$p_1p_2p_3p_4p_5$	$p_1p_2p_3p_4p_5\log_2(p_1p_2p_3p_4p_5)$	–0,4488
2	0	1	1	1	1	$p_2p_3p_4p_5q_1$	$q_1p_2p_3p_4p_5\log_2(q_1p_2p_3p_4p_5)$	–0,2578
3	1	0	1	1	1	$p_1p_3p_4p_5q_2$	$p_1q_2p_3p_4p_5\log_2(p_1q_2p_3p_4p_5)$	–0,2578
4	1	1	0	1	1	$p_1p_2p_4p_5q_3$	$p_1p_2q_3p_4p_5\log_2(p_1p_2q_3p_4p_5)$	–0,2578
5	1	1	1	0	1	$p_1p_2p_3p_5q_4$	$p_1p_2p_3q_4p_5\log_2(p_1p_2p_3q_4p_5)$	–0,2578
6	1	1	1	1	0	$p_1p_2p_3p_4q_5$	$p_1p_2p_3p_4q_5\log_2(p_1p_2p_3p_4q_5)$	–0,2578
7	0	1	0	1	1	$p_2p_4p_5q_1q_3$	$q_1p_2q_3p_4p_5\log_2(q_1p_2q_3p_4p_5)$	–0,0518
8	0	1	1	0	1	$p_2p_3p_5q_1q_4$	$q_1p_2p_3q_4p_5\log_2(q_1p_2p_3q_4p_5)$	–0,0518
9	0	1	1	1	0	$p_2p_3p_4q_1q_5$	$q_1p_2p_3p_4q_5\log_2(q_1p_2p_3p_4q_5)$	–0,0518
10	1	0	0	1	1	$p_1p_4p_5q_2q_3$	$p_1q_2q_3p_4p_5\log_2(p_1q_2q_3p_4p_5)$	–0,0518
11	1	0	1	0	1	$p_1p_3p_5q_2q_4$	$p_1q_2p_3q_4p_5\log_2(p_1q_2p_3q_4p_5)$	–0,0518
12	1	0	1	1	0	$p_1p_3p_4q_2q_5$	$p_1q_2p_3p_4q_5\log_2(p_1q_2p_3p_4q_5)$	–0,0518
13	1	1	0	1	0	$p_1p_2p_4q_3q_5$	$p_1p_2q_3p_4q_5\log_2(p_1p_2q_3p_4q_5)$	–0,0518
14	1	1	1	0	0	$p_1p_2p_3q_4q_5$	$p_1p_2p_3q_4q_5\log_2(p_1p_2p_3q_4q_5)$	–0,0518
15	0	1	0	1	0	$p_2p_4q_1q_3q_5$	$q_1p_2q_3p_4q_5\log_2(q_1p_2q_3p_4q_5)$	–0,0083
16	1	0	1	0	0	$p_1p_3q_2q_4q_5$	$p_1q_2p_3q_4q_5\log_2(p_1q_2p_3q_4q_5)$	–0,0083

Примечание. В таблице представлены только работоспособные состояния элементов.

Заключение

Основное назначение данного метода – оценка качественного и количественного содержания информации, полученная на основе перебора состояний элементов структуры. Интеграция данного метода в среду оценки структурной надежности через меру неопределенности информации позволяет определить усредненное по параметрам состояние технической системы. С помощью полученных математических выражений можно рассчитывать количество информации отдельно для работоспособного и неработоспособного состояний системы.

Рассматривая различные варианты структур системы, используя предлагаемый метод, можно выбрать более надежную структуру с позиции наличия в ней определенного количества меры неопределенности информации.

Метод справедлив в случае нормировки количества энтропии согласно [4] и подлежит формализации, что позволяет реализовать его через программную среду.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-08-01473.

Список литературы

1. Дулесов А.С., Кабаева Е.В. Логарифмическая мера информации состояния технического объекта // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1 (Электронный журнал); URL:www.science-education.ru/107-8210 (дата обращения: 28.01.2013).

2. Дулесов А.С., Кондрат Н.Н. Количество информации при наложении и пересечении элементарных событий // Научное обозрение. – 2014. – № 12. – С. 146–150.

3. Дулесов А.С., Кондрат Н.Н. Мера неопределенности информации и её свойства применительно к оценке случайного поведения технического объекта // Научное обозрение. – 2014. – № 7. – С. 258–264.

4. Дулесов А.С., Кондрат Н.Н. Определение для простейшей структуры технической системы количества информационной энтропии посредством её нормировки // Фундаментальные исследования». – 2015. – № 2, (часть 20). – С. 4408–4412.

5. Дулесов А.С., Семенова М.Ю., Хрусталев В.И. Свойства энтропии технической системы // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8 (часть 3). – С. 631–636.

References

1. Dulesov A.S., kabaeva E.V. Sovremennie problemy nauki I obrazovaniya (Modern problems of science and education), 2013, no.1, available at: http://www.science-education.ru/107-8210.

2. Dulesov A.S., Kondrat N.N. Nauchnoe obozrenie (Science review), 2014, no. 12, pp. 146–150.

3. Dulesov A.S., Kondrat N.N. Nauchnoe obozrenie (Science review), 2014, no. 7, pp. 258–264.

4. Dulesov A.S., Kondrat N.N. Fundamental Research, 2015, no. 2 (part 20), pp. 4408–4412.

5. Dulesov A.S., Semenova M.YU., Khrustalev V.I. Fundamentalnie issledovaniya (Fundamental Research), 2011 no. 8 (part. 3), pp. 631–636.

Рецензенты:

Гафнер Ю.Я., д.ф.-м.н., зав. кафедрой общей и экспериментальной физики, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан;

Кочетков В.П., д.т.н., профессор кафедры электроэнергетики, Хакасский технический институт (филиал), Сибирский федеральный университет, г. Абакан.

УДК 533.6.011.8

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТНОЙ АЭРОДИНАМИКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Зея Мьо Мьинт

Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, e-mail: zayyarmyomyint@gmail.com

Основным инструментом исследования высотной аэродинамики аэрокосмических аппаратов являются численные методы динамики разреженного газа, в частности методы прямого статистического моделирования (Монте-Карло). Экспериментальное определение аэродинамических данных для больших высот полета затруднительно и с технической, и с экономической точки зрения. Развитие численных методов в динамике разреженных газов связано в первую очередь с использованием метода прямого статистического моделирования (Монте-Карло). В данной работе представлены постановка задачи и различные модели взаимодействия молекул газа с поверхностью. Разработаны программные системы для определения АДХ аэрокосмических аппаратов на орбите и на начальном участке траектории спуска. Так же приведены расчеты аэродинамических характеристик аэрокосмических аппаратов методом прямого статистического моделирования (Монте-Карло) для различных моделей взаимодействия молекул газа с поверхностью. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании перспективных аэрокосмических систем.

Ключевые слова: высотная аэродинамика, метод Монте-Карло, модели взаимодействия газа с поверхностью, динамика разреженного газа, аэродинамические характеристики аэрокосмических аппаратов

NUMERICAL INVESTIGATION OF HIGH-ALTITUDE AERODYNAMICS OF AEROSPACE VEHICLES

Zay Yar Myo Myint

Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, e-mail: zayyarmyomyint@gmail.com

The main tools for the study of aerodynamic characteristics of the spacecraft are numerical methods of rarefied gas dynamics, in particularly; direct simulation Monte-Carlo methods. Most of the time aerospace vehicles are flying at high altitude under free conditions and experimental research in this region is very difficult. Experimental determination of aerodynamic data for high altitudes is difficult not only with technical, but also from an economic point of view. The development of numerical methods in rarefied gas dynamics is primarily due to the use of direct simulation method (Monte Carlo). In this paper present algorithm of the Monte Carlo method and the various gas-surface interaction models. The program is useful for the determination of aerodynamic characteristics of aerospace vehicles in orbit and on the initial stage the descending trajectory. Also presented the calculation results of the aerodynamic characteristics of spacecrafts obtained by Monte Carlo method at different gas-surface interaction models are described.

Keywords: high-altitude aerodynamics, Monte-Carlo method, rarefied gas dynamics, gas-surface interaction models, aerodynamic characteristics of aerospace vehicle

Большую часть времени полета воздушно-космические аппараты находятся на большой высоте при свободномолекулярных условиях, и экспериментальное исследование при таких условиях весьма проблематично. И методы вычислительной аэродинамики разреженного газа в настоящее время являются практически единственным средством получения информации об аэродинамической ситуации в окрестности космического аппарата. Определение граничных условий на поверхности, обтекаемой разреженным газом, является одной из важнейших проблем кинетической теории газов [6]. Взаимодействие газа с поверхностью обтекаемого тела играет определяющую роль в высотной аэродинамике [1].

Метод прямого статистического моделирования (Монте-Карло) является наиболее распространенным среди численных методов решения прикладных задач динамики разреженного газа. Метод Монте-Карло широко применяется в аэродинамике как универсальный метод расчета тел сложной формы с учетом затенения. Более того, в последнее время явно прослеживается тенденция применения этого метода к расчету всего спектра течений – от сплошной среды до свободномолекулярного течения [2].

Целью настоящей работы является исследование аэродинамических характеристик (АДХ) аэрокосмических аппаратов методом прямого статистического моделирования (Монте-Карло) в высокоскоростном потоке разреженного газа. В работе рассматривается влияние модели взаимодействия молекул газа с поверхностью на АДХ аэрокосмических аппаратов.

Постановка задач свободномолекулярного обтекания

Основным инструментом исследования высотной аэродинамики аэрокосмических аппаратов является метод прямого статистического моделирования (Монте-Карло). Важным преимуществом метода прямого статистического моделирования (Монте-Карло) по сравнению с решением задачи на основе уравнения Больцмана является формулировка граничных условий в терминах вероятностного описания для каждой молекулы, а не в виде функции распределения в окрестности границы [2, 7].

Будем считать, что на границах области столкновения молекул между собой не играют существенной роли, что справедливо в случае $Kn = \lambda/L >> 1$, т.е. когда длина пробега молекул газа λ существенно превышает характерные размеры тела L. Тогда на границах области рассматриваемого течения функция распределения влетающих в область молекул будет равна $f_{\infty,}$ которая, как показывает опыт, является максвелловской. Количество частиц, влетающих в область в единицу времени через все границы, будет равно

$$N_j = S_j \int\limits_{(\xi\cdot\mathbf{n}_j)>0} (\xi\cdot\mathbf{n}_j) f_\infty(t,\xi)\mathrm{d}\xi,$$

где N_j – поток частиц через границу с номером j; $\mathbf{n}_j$ – единичный нормальный вектор; ξ – вектор скорости молекулы. Вычисление N_j сводится к известным интегралам от максвелловской функции, зависящим от скоростного отношения $\mathbf{S}$ (аналога числа Маха) $\mathbf{S}_\infty = V_\infty h_\infty^{1/2}$; $h_\infty = m/2kT_\infty = 1/2\mathrm{R}T_\infty$, здесь V – скорость потока, k – постоянная Больцмана, R – универсальная газовая константа.

Модели взаимодействия молекул газа с поверхностью

Граничными условиями для уравнения Больцмана являются условия, связывающие функцию распределения падающих и отраженных молекул. Роль законов взаимодействия молекул с поверхностью проявляется тем сильнее, чем более газ разрежен [6]. В течение длительного времени использовалась схема зеркально-диффузного отражения Максвелла.

В модели Максвелла плотность распределения отраженных молекул имеет вид

$$f_r(\mathbf{x}_w,\xi_r) = (1-\sigma_\tau) f_i\left(\mathbf{x}_w, \xi_r - 2(\xi_r\cdot\mathbf{n})\mathbf{n}\right)\sigma +_\tau \pi_r n^{-3/2} h_r^{3/2} \exp\left(-h_r\xi_r^2\right),\ \xi_r\cdot\mathbf{n} > 0,$$

и ядро рассеяния [1, 6] имеет вид

$$K(\xi_i \to \xi_r) = (1-\sigma_\tau)\,\delta\left[\xi_i - 2\left(\xi_r\cdot\mathbf{n}\right)\mathbf{n}\right]\sigma_\tau - \frac{2h_r^2}{\pi}\exp\left[-h_r\xi_r^2\right]\cdot\left(\xi_i\cdot\mathbf{n}\right);$$

$$h_r = \frac{m}{2kT_r}.$$

Здесь полагается, что доля $(1-\sigma_\tau)$ молекул отражается зеркально, а остальная часть σ_τ молекул – диффузно, параметр $0 \le \sigma_\tau \le 1$ определяет коэффициент аккомодации касательной компоненты импульса

$$\sigma_\tau = (P_{\tau i} - P_{\tau r})/P_{\tau i}.$$

В модели CL (Черчиньяни – Лампис) ядро рассеяния для касательной к поверхности компоненты скорости имеет вид

$$K(\xi_{\tau i} \to \xi_{\tau r}) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma_\tau(2-\sigma_\tau)}}\exp\left[-\frac{\left(\xi_{\tau r} - (1-\sigma_\tau)\xi_{\tau i}\right)^2}{\sigma_\tau(2-\sigma_\tau)}\right],$$

здесь $\xi_{\tau i}$, $\xi_{\tau r}$ – касательная к поверхности компонента скорости для падающей и отраженной молекул, отнесенная к $h_w^{-1/2}$.

Ядро рассеяния удовлетворяет принципу взаимности и условиям нормировки:

$$\left|\xi_{ni}\right| f_M(\xi_i) K(\xi_i \to \xi_r) = \left|\xi_{nr}\right| f_M(\xi_r) K(-\xi_i \to -\xi_r);$$

$$\int\limits_{\xi_{nr}>0} K(\xi_i \to \xi_r)\, d\xi_r = 1,$$

здесь f_M – Максвелловская плотность распределения.

Использованное преобразование расширяет CL модель для учета обмена вращательной энергией между газом и поверхностью [8]. Модель в таком виде называется моделью Черчиньяни – Лампис-Лорда (CLL). Потом были предложены модификации модели [10] для учета обмена колебательной энергией и расширения диапазона состояний рассеянных молекул. Модель CLL в настоящее время получила широкое признание в работах [3, 9, 11, 13–15].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим решение задач определения аэродинамических характеристик аэрокосмических аппаратов методом прямого статистического моделирования (Монте-Карло) в свободномолекулярном потоке разреженного газа. В работе используются различные модели взаимодействия молекул с поверхностью Максвелла и Черчиньяни – Ламписа – Лорда (CLL). Значения параметров: температурный фактор $t_w = T_w/T_\infty = 0{,}04$; 0,1; скоростное отношение $S = 20$; коэффициенты аккомодации тангенциального импульса и нормальной энергии σ_τ, $\sigma_n = 0{,}5$; 0,75; 1. Расчет проводился с использованием $5 \cdot 10^6$ частиц.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости коэффициентов силы сопротивления C_x, подъемной силы C_y, момента тангажа m_z от угла атаки α от –90° до +90° для крылатого космического аппарата (рис. 1). При уменьшении σ_τ от 1 до 0,5 величина C_x снижается до 1,85 при $-55° < \alpha < 55°$, и при уменьшении σ_τ от 1 до 0,75 величина C_x снижается до 1,74 при $-55° < \alpha < 55°$. В рамках модели Максвелла при больших по модулю углах атаки зеркально отраженные молекулы повышают величину C_x, чего не наблюдается в рамках модели CLL.

Рис. 1. Геометрия крылатого космического аппарата

При уменьшении σ_τ от 1 до 0,5 величина C_x увеличивается до 2,64 при $\alpha = +90°$. Коэффициент C_y снижает в несколько раз по модулю при уменьшении σ_τ от 1 до 0,5; 0,75. График $m_z(\alpha)$ показывает, что при уменьшении σ_τ наблюдается возрастание $m_z(\alpha)$. Это можно объяснить тем, что при нулевой аккомодации ($\sigma_\tau = 0$) все молекулы отражаются зеркально, и при полной аккомодации отражаются диффузно ($\sigma_\tau = 1$). Зеркально отраженные молекулы передают поверхности больший импульс, чем диффузно рассеянные от холодной стенки молекулы [3].

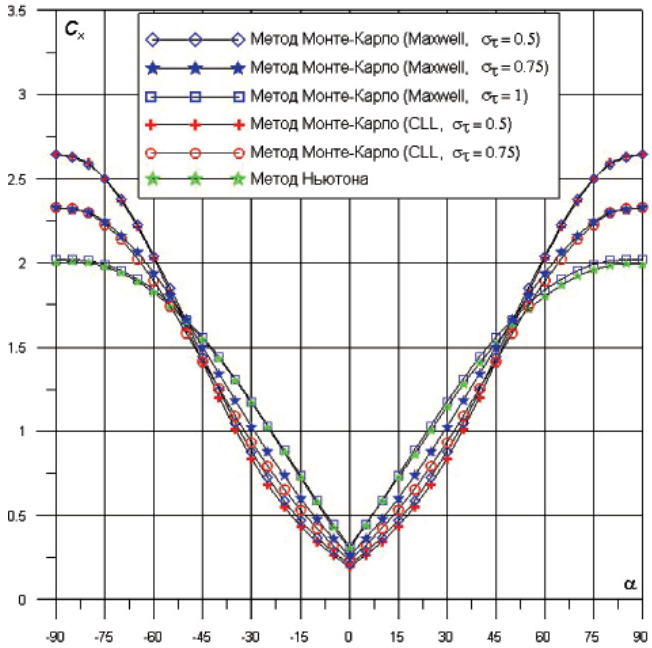


Рис. 2. Зависимости $C_x(\alpha)$ для крылатого космического аппарата ($t_w = 0{,}1$)

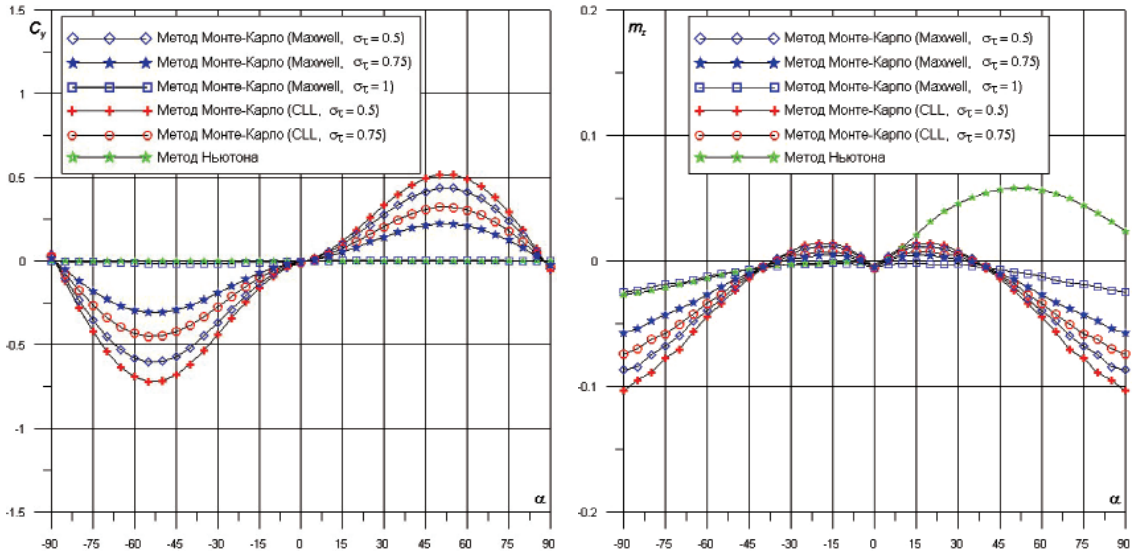


Рис. 3. Зависимости $C_y(\alpha)$ и $m_z(\alpha)$ для крылатого космического аппарата (t_w = 0,1)

Можно сказать, что величина нормальных и касательных напряжений, вызываемых отраженным потоком, зависит от характера отражения молекул. Отметим, что близость результатов, полученных с помощью моделей Максвелла и CLL, отмечалась ранее в работе [12] для тел с высокими коэффициентами аккомодации поверхности, что позволяло достигнуть лучшего согласования с результатами эксперимента в аэродинамической трубе.

На рис. 5 и 6 представлены зависимости коэффициентов силы сопротивления C_x, подъемной силы C_y, момента тангажа m_z от угла атаки α при различных σ_τ для спускаемого аппарата (рис. 4). Используются различные модели взаимодействия молекул с поверхностью (Максвелла и Черчиньяни – Лампис – Лорда, CLL). Значения параметров: температурный фактор $t_w = T_w/T_\infty$ = 0,04; 0,1; скоростное отношение s = 20; коэффициенты аккомодации тангенциального импульса и нормальной энергии σ_τ , σ_n = 0,5; 1; угол атаки α = 0–30°.

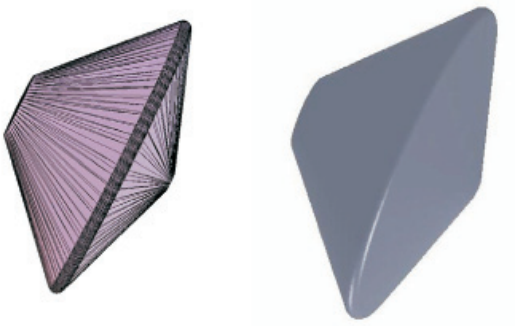


Рис. 4. Геометрический вид спускаемого аппарата

Коэффициент C_x уменьшается с ростом угла атаки α до значения около 1,89 при α = 30° при σ_τ = 1. При уменьшении σ_τ от 1 до 0.5 величина C_x увеличивается до 2,72 при α = 0°. Коэффициент C_y снижает в несколько раз по модулю при уменьшении σ_τ от 1 до 0,5. Зависимость $m_z(\alpha)$ объясняет то, что при понижении σ_τ чувствительно увеличивает в рамках разных диапазонов углов атаки.

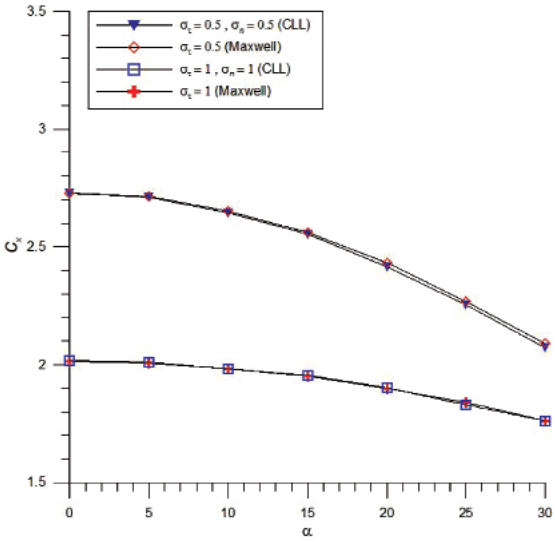


Рис. 5. Зависимости $C_x(\alpha)$ при t_w = 0,04 для спускаемого аппарата

При (σ_τ, σ_n = 0, 1) значительно совпадали [4, 5, 16]. Но при малых углах атаки отраженные молекулы слабо отклоняются от первоначального направления и поэтому вносят малый вклад в сопротивление тонкого тела. При дальнейшем увеличении угла атаки ситуация изменяется: зеркально отраженные молекулы передают поверхности конуса больший импульс, чем диффузно рассеянные от стенки молекулы.

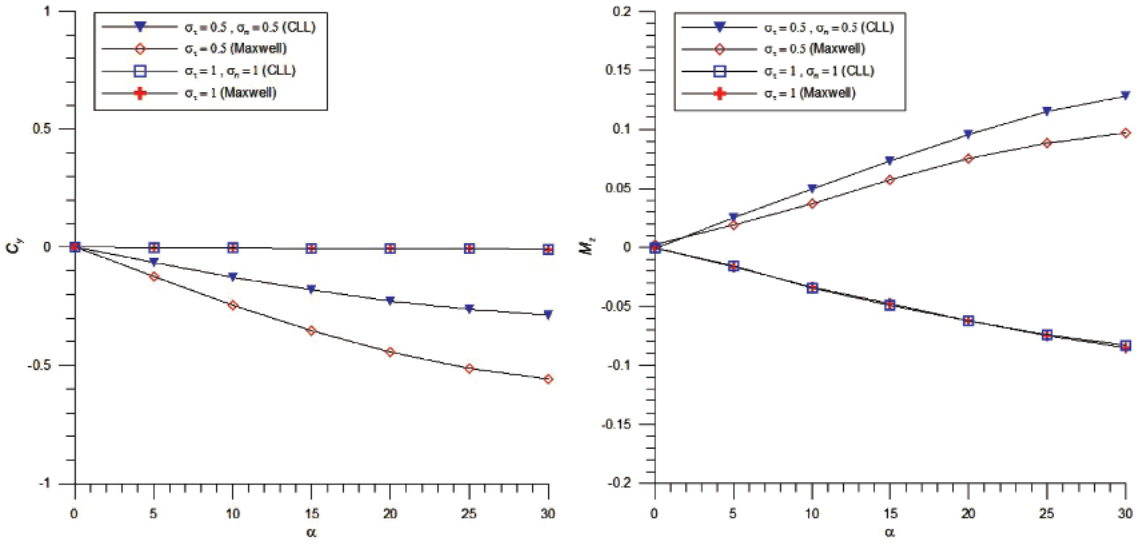


Рис. 6. Зависимости Cy(α) и m_z(α) при t_w = 0,04 для спускаемого аппарата

Заключение

Представлены результаты расчетов аэродинамических сил сопротивления C_x, подъемной силы C_y, момента тангажа m_z аэрокосмических аппаратов методом Монте-Карло при различных значениях коэффициентов аккомодации σ_τ, σ_n с использованием различных моделей взаимодействия молекул с поверхностью (Максвелла и CLL). Исследовано влияние на АДХ особенностей модели взаимодействия молекул с поверхностью. Результаты сравнены с традиционным методом Ньютона. Разработанные программные системы позволяют оперативно получать АДХ разрабатываемых и эксплуатируемых на орбите и на начальном участке траектории спуска космических аппаратов и могут быть использованы при проектировании перспективных космических систем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 14-07-00564-а).

Список литературы

1. Баранцев Р.Г. Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями. – М.: Наука, 1975.

2. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И. Методы Монте-Карло в механике жидкости и газа. – М.: Азбука, 2008.

3. Воронич И.В., Мьинт З.М. Влияние особенностей взаимодействия газа с поверхностью на аэродинамические характеристики космического аппарата // Вестник МАИ. – 2010. – Т. 17, № 3. – С. 59–67.

4. Жаров В.А., Зея Мьо Мьинт, Поляков М.С., Хлопков А.Ю., Чжо Зин Разработка методов Монте-Карло для решения задач аэротермодинамики возвращаемых космических аппаратов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11(9). – С. 1819–1823.

5. Зея Мьо Мьинт, Хлопков А.Ю. Расчет аэродинамики летательного аппарата сложной формы в гиперзвуковом режиме обтекания // Труды МФТИ. – 2013. – Т. 5, № 2. – С. 69–80.

6. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. – М.: Наука, 1967.

7. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. – Oxford: Clarendon Press, 1994.

8. Cercignani C., Lampis M. Kinetic Models for Gas-Surface Interactions // Transport Theory and Statistical Physics. – 1971. – Vol. 1, № 2. – P. 101–114.

9. Ketsdever A.D., Muntz. E.P. Gas-Surface Interaction Model Influence on Predicted Performance of Microelectromechanical System Resistojet // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. – 2001. – Vol. 15, № 3. – P. 302–307.

10. Lord R.G. Some Further Extensions of the Cercignani-Lampis Gas-Surface Interaction Model // Phys. Fluids. – 1995. – Vol. 7, № 5. – P. 1159–1161.

11. Padilla J.F. Assessment of Gas-Surface Interaction Models for Computation of Rarefied Hypersonic Flows // Ph.D. Dissertation. – University of Michigan, 2008.

12. Padilla J.F., Boyd I.D. Assessment of Gas-Surface Interaction Models in DSMC Analysis of Rarefied Hypersonic Flow // AIAA Paper 2007-3891. – 2007.

13. Santos W.F.N. Gas-Surface Interaction Effect on Round Leading Edge Aerothermodynamics // Brazilian Journal of Physics. – 2007. – Vol. 37, № 2A.

14. Utah S. and Arai H. Monte Carlo Simulation of Reentry Flows Based Upon a Three-Temperature Model // Proc. of 23rd Int. Symp. on Space Technology and Science. – 2002. – Vol.1. – P. 1209–1214.

15. Wadsworth D.C., Van Glider D.B., Dogra V.K. Gas-Surface Interaction Model Evaluation for DSMC Applications // Proc. of 23rd Int. Symp. on Rarefied Gas Dynamics. – 2003. – P. 965–972.

16. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu. Application of Gas-Surface Interaction Models in Rarefied Hypersonic Flows // Journal of Physics and Technical Sciences. – 2014. – Vol. 2, № 1. – P. 1–7.

References

1. Barantsev R.G. Vzaimodeistvie razrezhennykh gazov s obtekaemymi poverkhnostyami [Interaction of the Rarefied Gas with Surface Body]. Moscow, Nauka, 1975.

2. Belotserkovskii O.M., Khlopkov Yu.I. Metody Monte-Karlo v mekhanike zhidkosti i gaza [Monte Carlo Methods in Mechanics of Fluid and Gas]. Moscow, Azbuka, 2008.

3. Voronich I.V., Zay Yar Myo Myint. Vliyanie osobennostei vzaimodeistviya gaza s poverkhnostyu na aerodinamicheskie kharakteristiki kosmicheskogo apparata // *Vestnik MAI*. 2010. vol. 17, no. 3. pp. 59–67.

4. Zharov V.A., Zay Yar Myo Myint, Polyakov M.S., Khlopkov A.Yu., Kyaw Zin. Razrabotka metodov Monte-Karlo dlya resheniya zadach aerotermodinamiki vozvrashchaemykh kosmicheskikh apparatov // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013. no. 11(9). pp. 1819–1823.

5. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Raschet aerodinamiki letatelnogo apparata slozhnoi formy v giperzvukovom rezhime obtekaniya // *Trudy MFTI*. 2013. vol. 5, no 2. pp. 69–80.

6. Kogan M.N. Dinamika razrezhennogo gaza [Dynamics of Rarefied Gas]. Moscow, Nauka, 1967.

7. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. – Oxford: Clarendon Press, 1994.

8. Cercignani C., Lampis M. Kinetic Models for Gas-Surface Interactions // Transport Theory and Statistical Physics. 1971. Vol. 1, no. 2. pp. 101–114.

9. Ketsdever A.D., Muntz. E.P. Gas-Surface Interaction Model Influence on Predicted Performance of Microelectromechanical System Resistojet // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 2001. Vol. 15, no. 3. pp. 302–307.

10. Lord R.G. Some Further Extensions of the Cercignani-Lampis Gas-Surface Interaction Model // Phys. Fluids. 1995. Vol. 7, no. 5. pp. 1159–1161.

11. Padilla J.F. Assessment of Gas-Surface Interaction Models for Computation of Rarefied Hypersonic Flows // Ph.D. Dissertation. University of Michigan, 2008.

12. Padilla J.F., Boyd I.D. Assessment of Gas-Surface Interaction Models in DSMC Analysis of Rarefied Hypersonic Flow // AIAA Paper 2007-3891. 2007.

13. Santos W.F.N. Gas-Surface Interaction Effect on Round Leading Edge Aerothermodynamics // Brazilian Journal of Physics. 2007. Vol. 37, no. 2A.

14. Utah S. and Arai H. Monte Carlo Simulation of Reentry Flows Based Upon a Three-Temperature Model // Proc. of 23rd Int. Symp. on Space Technology and Science. 2002. Vol.1. pp. 1209–1214.

15. Wadsworth D.C., Van Glider D.B., Dogra V.K. Gas-Surface Interaction Model Evaluation for DSMC Applications // Proc. of 23rd Int. Symp. on Rarefied Gas Dynamics. 2003. pp. 965–972.

16. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu. Application of Gas-Surface Interaction Models in Rarefied Hypersonic Flows // Journal of Physics and Technical Sciences. 2014. Vol. 2, no. 1. pp. 1–7.

Рецензенты:

Хлопков Ю.И., д.ф.-м.н., профессор, ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский;

Шалаев В.И., д.ф.-м.н., профессор, факультет аэромеханики и летательной техники, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Жуковский.

УДК 621.396.932

СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СОТОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Корнилов И.Н., Ергашёв Н.В.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: ilya238@rambler.ru, nikerg@rambler.ru

В данной работе рассматриваются вопросы создания локальной дифференциальной системы (ЛДС) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). В качестве канала передачи корректирующей информации используется сотовая сеть GSM. ЛДС строится на основе геодезической контрольно-корректирующей станции (ГККС) и спутниковой двухчастотной навигационной аппаратуры «ИЗЫСКАНИЕ». Такая система позволит путём дополнения аппаратуры потребителя ГНСС специализированным модемом повысить точность определения местоположения до дециметровых величин. Преимуществом ЛДС является доступность для массового использования населением города Екатеринбурга. Вторым преимуществом является то, что система создаётся полностью на основе российского оборудования. Помимо этого, в статье решаются задачи точной координатной привязки фазового центра антенны ГККС и создания навигационной аппаратуры потребителя ЛДС.

Ключевые слова: спутниковая навигация, дифференциальный режим, точность определения координат

CREATION OF A LOCAL DIFFERENTIAL SUBSYSTEM BASED ON A CELLULAR NETWORK

Kornilov I.N., Ergashev N.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, e-mail: ilya238@rambler.ru, nikerg@rambler.ru

This paper is devoted to the problems of creation of local differential system (LDS) of GNSS. Mobile network GSM is used as a transmission channel of correcting information. LDS is based on geodesic control correcting station (GCCS) and satellite double frequency navigation equipment “INVESTIGATION”. Such system will help to increase accuracy of position determination to decimeters values by special modem adding to user equipment GNSS. Access for mass using by Yekaterinburg citizens is one of LDS advantages. Another LDS advantage is entire creation on the base of Russian equipment. Besides, this article solves the problems of precise coordinate connection of antenna GCCS phase centre and creation of navigation equipment LDS user.

Keywords: satellite navigation, differential mode, positioning accuracy

В настоящее время массово доступные приёмники потребителя глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяют получить координаты потребителя с погрешностью 5…10 метров [5, 1]. Такая точность удовлетворяет транспортным применениям при навигации движения по маршруту, для контроля за перемещением объектов в диспетчерских службах перевозок, охраны, в исследовательских целях. Но такой точности недостаточно для многих хозяйственных применений спутниковой навигации. Например, заход на посадку воздушных судов по категориям международной организации гражданской авиации (ИКАО), маневрирование морских судов в узких акваториях, использование для решения топогеодезических, гидрографических и других задач.

Обеспечить точными координатными определениями потребителей ГНСС можно, создав локальную дифференциальную систему ГНСС. В основе дифференциального режима работы спутниковых радионавигационных систем (СРНС) лежит свойство пространственно-временной коррелированности погрешностей измерений радионавигационных параметров радиосигналов навигационных спутников (НС), проведенных в различных точках пространства в близкие моменты времени [4]. При этом штатное оборудование СРНС дополняется рядом технических средств, совокупность которых образует дифференциальную подсистему (ДПС), которая является функциональным дополнением СРНС. В России существует несколько десятков подобных систем, охватывающих месторождения, бассейны рек, участки железных дорог, мосты. Но подавляющее большинство этих систем являются ведомственными и поэтому доступны ограниченному числу людей, а также такие системы используют дорогостоящую зарубежную аппаратуру и программное обеспечение [2]. Зоны действия наземных функциональных дополнений СРНС в России показаны на рис. 1.

Рис. 1. Зоны действия наземных функциональных дополнений СРНС в России

Важный, распространенный и весьма перспективный класс локальных ДПС составляют системы геодезического обеспечения с дальностью не более 50 км и сантиметровой-дециметровой точностью. Как правило, их использование допускает серьезную обработку измерений после того, как эти измерения проведены [7].

На территории города Екатеринбурга создаётся пилотный проект локальной дифференциальной системы на базе отечественной навигационной аппаратуры производства Российского института радионавигации и времени (РИРВ), г. Санкт-Петербург. Эта система создаётся на базе Уральского федерального университета (УрФУ) совместно с местным оператором сотовой связи. Преимуществом создаваемой системы является её доступность для населения.

Технология создания локальной системы повышенной точности местоопределения, с использованием СРНС, включает следующие этапы: подготовительные работы, полевые измерения, обработка полевых измерений и оценка точности измерений. Подготовительные работы предполагают подготовку аппаратуры и проверку ее работоспособности, определение прогноза видимых навигационных космических аппаратов (НКА), составление плана измерений и схемы передвижения по маршруту [7].

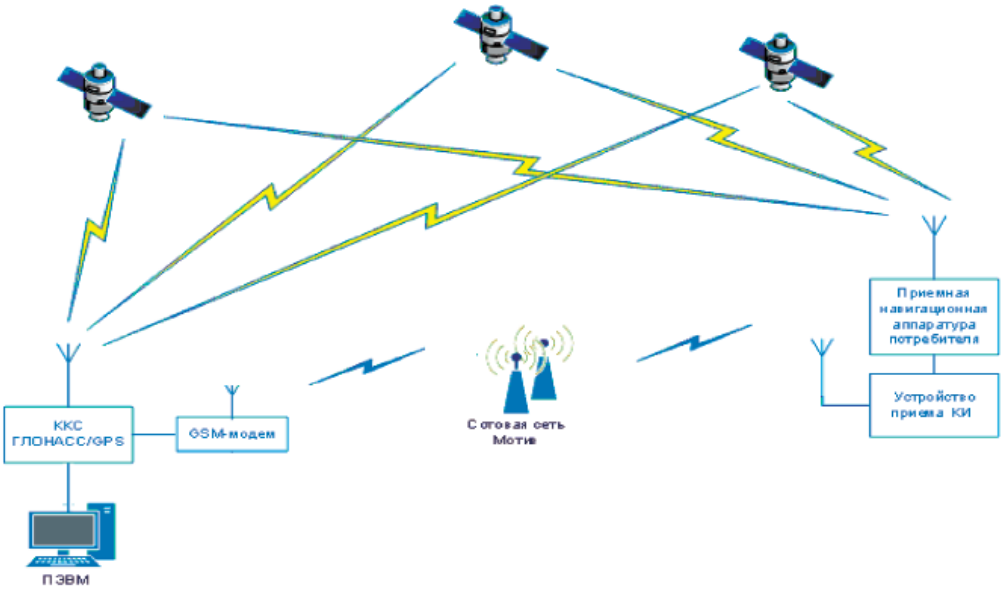


Рис. 2. Структура локальной дифференциальной системы: ГККС ГЛОНАСС/GPS, базовая станция сотовой сети связи, навигационная аппаратура потребителей (НАП), навигационный спутник (НС)

На территории УрФУ установлена геодезическая контрольно-корректирующая станция (ГККС) производства РИРВ [6]. Антенна ГККС установлена на крыше здания. Аппаратура ГККС может автономно определять собственные координаты с погрешностью не более 10 см. Структура создаваемой локальной дифференциальной системы показана на рис. 2.

Осуществлены работы по настройке и точной координатной привязке антенны ГККС. Для осуществления координатной привязки станция в течение 12 часов принимала сигналы диапазонов L1 и L2 от навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS. Было получено несколько точек координатных измерений. Обработка измерений произведена с помощью компьютерной программы фирмы-производителя. Накопленные координатные определения в виде файлов с расширением *.mpi станция передавала на персональный компьютер (ПК). На ПК при помощи файлового менеджера ГККС осуществлялось преобразование файлов измерений *.mpi в формат BL DS/Leica. После чего в программе BL-GEO for Windows осуществлялся импорт файлов из BL DS/Leica формата. После этого в режиме постобработки данных программой BL-GEO осуществлялось определение точных координат фазового центра антенны. Полученные координаты фазового центра антенны в системе WGS-84 в формате *XYZ*: $X = 1714023{,}7056$ м, $Y = 3048156{,}1566$ м, $Z = 5316452{,}9981$ м, и пересчитаны в формат *BLH*: $B = 56°50'26{,}2402''$, $L = 60°39'01{,}0883''$, $H = 286{,}5327$ м. Вычисленные таким образом координаты введены в ГККС в качестве шаблона.

После точной привязки ГККС включается в дифференциальном режиме. Сравнивая шаблонные координаты со значениями координат, вычисленными по принятым радиосигналам НС, ГККС вычисляет корректирующие поправки к измеренным параметрам и формирует RTCM-сообщения. При этом станция формирует корректирующую информацию (КИ), предназначенную для потребителей, находящихся в зоне 30 км от станции. В КИ входят кадры сообщений в формате RTCM-SC 104 с номерами 1 – дифференциальные поправки GPS (фиксированное), 3 – параметры опорной станции GPS (фиксированное), 5 – техническое состояние созвездия GPS (фиксированное), 6 – нулевой кадр GPS (фиксированное), 9 – система частных поправок GPS (фиксированное), 16 – специальное сообщение GPS (фиксированное), 18 – нескорректированные с помощью метода Real-time kinematic (RTK) фазы несущей (фиксированное), 19 – нескорректированные с помощью метода RTK псевдодальности (фиксированное), 31 – дифференциальные поправки ГЛОНАСС (экспериментальное), 32 – параметры опорной станции ГЛОНАСС (экспериментальное), 33 – техническое состояние созвездия ГЛОНАСС (экспериментальное), 34 – нулевой кадр ГЛОНАСС (экспериментальное), 36 – специальное сообщение ГЛОНАСС (экспериментальное) [7]. Информация с ГККС собирается в центре управления оператора сотовой связи. Потребитель по запросу, который он посылает в центр управления, получает КИ из этого центра по каналу GSM. С учётом КИ точность определения местоположения стандартной аппаратурой потребителя повышается до нескольких дециметров.

Существующие на данный момент в России локальные и региональные дифференциальные системы для передачи информации используют ведомственные средства связи. Доступ потребителей в таких системах ограничен их ведомственным назначением [7, 3].

В создаваемой системе региональный оператор сотовой связи может доставлять КИ до каждого абонента сети, желающего иметь такую услугу. Абонент сотовой сети, желающий иметь услугу точного позиционирования, должен иметь навигационный приёмник и специальный модем, позволяющий посылать в сеть запросы на приём КИ и принимать КИ в предусмотренном формате (рис. 3). Специальный модем должен состоять из GSM модема и микроконтроллера. Задачами микроконтроллера являются управление GSM модемом и формирование запросов на приём КИ.

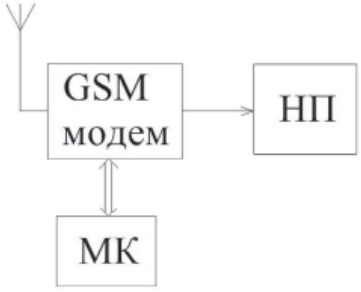


Рис. 3. Навигационный приемник, оснащенный техническими средствами для работы в дифференциальном режиме: GSM модем и управляющий микроконтроллер (МК)

Существующий в России опыт создания локальных и региональных дифференциальных подсистем основан на договорах с иностранными партнёрами, использует иностранное оборудование и рассчитан на ведомственные применения. В таких системах доступ ограничен

ведомственным назначением. Для создания общедоступной локальной дифференциальной системы предлагается создавать её на базе сетей сотовой связи. Разработан проект локальной дифференциальной подсистемы на базе ГККС производства РИРВ и сотовой сети «Мотив». Локальная дифференциальная подсистема представляет собой часть региональной дифференциальной подсистемы областного масштаба. Показана возможность создания системы точного позиционирования на региональном уровне на основе системы сотовой связи. Достоинствами системы являются её низкая стоимость и общедоступность для населения.

Было проведено исследование повышения точности определения местоположения потребителя с использованием разрабатываемой ЛДС. Эксперименты проводились с двухчастотным приёмником «Изыскание» производства РИРВ. Антенна, приёмник и ноутбук были установлены на открытой местности. В течение всех экспериментов антенна была неподвижна. Были включены аппаратура «Изыскание» и ноутбук. Приёмная аппаратура «Изыскание» была переведена в режим «Статика», т.е. точное измерение при неподвижной антенне. На ноутбуке была открыта программа GEO RTK, позволяющая отображать всю информацию от приёмника и управлять им. Приёмник и ноутбук обменивались данными по интерфейсу RS-232. Навигационный приёмник постоянно измерял свои координаты по сигналам ГЛОНАСС и GPS.

Было проведено 10 измерений в одном месте установки антенны. При этом координаты точки на местности были известны. При решении навигационной задачи двухчастотным приёмником «Изыскание» среднеквадратическое отклонение составляло 3…5 метров без использования КИ. Было проведено 10 измерений в одном месте установки антенны при использовании КИ, получаемой от ККС по GSM каналу. Результаты измерений показали среднеквадратическое отклонение, не превышающее 0,5 метра. Результаты показывают, на сколько повышается точность определения местоположения благодаря приёму КИ навигационной аппаратурой потребителя. Результаты измерений представлены на рис. 4. График 1 соответствует ситуации без приёма КИ, а график 2 – с приёмом КИ. В среднем СКО уменьшилось в 8 раз по сравнению с экспериментами, когда аппаратура потребителя не принимала КИ.

Таким образом, можно сделать вывод, что созданная ЛДС функционирует и позволяет на практике значительно повышать точность определения местоположения потребителя. Это свойство может быть использовано потребителями в различных сферах применения.

Показана возможность создания локальной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS на основе системы сотовой связи. Рассмотрены технические задачи, которые необходимо решить оператору сотовой связи для того, чтобы можно было ввести услугу повышения точности позиционирования абонентов по сигналам ГНСС. Подсистема введена в эксплуатацию и позволяет существенно повышать точность определения координат потребителя навигационной аппаратуры. Данная работа выполнена по проекту «Внедрение технологии дифференциальной ГЛОНАСС в хозяйственную деятельность Свердловской области», поддержанному РФФИ (РГНФ) и Правительством Свердловской области.

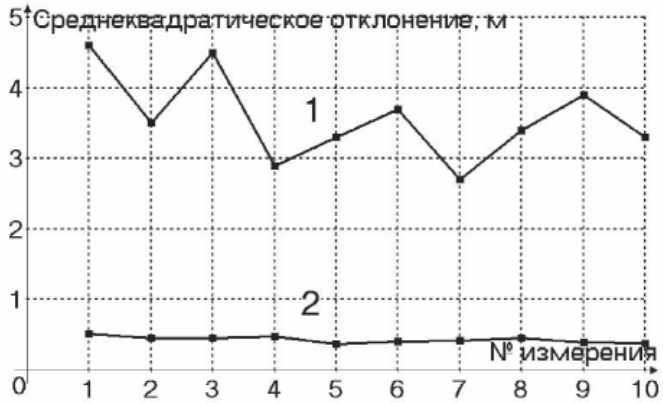


Рис. 4. Значения среднеквадратического отклонения определения местоположения при различных измерениях

Данная работа получила награду «Лучший доклад» по итогам конференции «Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления», УрФУ, ИРИТ-РтФ 15 декабря 2014 года.

Список литературы

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

2. Евстафьев О.В. Тенденции и проблемы развития спутниковых СТП в России. Журнал Геопрофи. – 2012. – № 3. – С. 9–13.

3. Конин В.В., Харченко В.П. Системы спутниковой радионавигации. Национальный авиационный университет. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.

4. Основы построения спутниковых радионавигационных систем. учеб. пособие для вузов. – Радиотехника, 2012. – 240 с.

5. Радионавигационный план Российской Федерации. – 2011. – 95 с.

6. Сайт Российского Института Радионавигации и Времени http://rirt.ru/.

7. Соловьёв Ю.А. Спутниковая навигация и её приложения. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 326 с.

References

1. GLONASS. Principy postroenija i funkcionirovanija / pod red. A.I. Perova, V.N. Harisova. 4-e izd. pererab. i dop. M.: Radiotehnika, 2010. 800 p.

2. Evstaf'ev O.V. Tendencii i problemy razvitija sputnikovyh STP v Rossii. Zhurnal Geoprofi. 2012. no. 3. pp. 9–13.

3. Konin V.V., Harchenko V.P. Sistemy sputnikovoj radionavigacii. Nacional'nyj aviacionnyj universitet. K.: Holteh, 2010. 520 p.

4. Osnovy postroenija sputnikovyh radionavigacionnyh sistem. ucheb. posobie dlja vuzov. Radiotehnika, 2012. 240 p.

5. Radionavigacionnyj plan Rossijskoj Federacii. 2011. 95 p.

6. Sajt Rossijskogo Instituta Radionavigacii i Vremeni http://rirt.ru/.

7. Solov'jov Ju.A. Sputnikovaja navigacija i ejo prilozhenija. M.: Jeko-Trendz, 2003. 326 p.

Рецензенты:

Шабунин С.Н., д.т.н., доцент, профессор кафедры высокочастотных средств радиосвязи и телевидения, первый заместитель директора института радиоэлектроники и информационных технологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Иванов В.Э., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологий и средств связи, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

УДК 004.9:330.46

ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИИ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

[1]Ломазов А.В., [2]Ломазов В.А., [2]Петросов Д.А.

[1]ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: info@bsu.edu.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Белгород, e-mail: info@bsaa.edu.ru

Работа посвящена применению методологии экспертных технологий при оценивании сложных динамических систем для поддержки принятия решений по выбору вариантов управления. На примере социально-экономических систем рассмотрена проблема структурирования совокупности показателей с учетом периодизации временного интервала функционирования. Предложено иерархическое агрегирование показателей по периодам времени, вложенное в иерархию оценочных показателей системы. В рамках предложенного подхода полученные на основе абсолютных значений и экспертных суждений вербальные значения показателей за разные временные периоды преобразованы соотнесением к единой безразмерной количественной измерительной шкале. Агрегирование производится в форме линейной свертки показателей с весовыми коэффициентами, отражающими относительную значимость показателей в разные периоды времени. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы свидетельствуют о его эффективности.

Ключевые слова: социально-экономическая система, экспертные технологии, иерархия показателей

A HIERARCHY OF ESTIMATED INDICATORS OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS BASED ON EXPERT TECHNOLOGY

[1]Lomazov A.V., [2]Lomazov V.A., [2]Petrosov D.A.

[1]Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin, Belgorod, e-mail: info@bsu.edu.ru;

[2]Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: info@bsaa.edu.ru

The work is devoted to the application of the methodology of the expert techniques in estimating complex dynamic systems to support decision-making on the selection of management options. As an example the problem of structuring the set of indicators based on the periodization of the time interval of the socio-economic system is considered. Hierarchical aggregation of indicators by periods of time embedded in the hierarchy of performance indicators system is proposed. Within the framework of the proposed approach verbal indicator values for different time periods, received based on absolute values and expert judgments, converted by relating to the unified dimensionless quantitative measuring scale. Aggregation is made in the form of linear convolution of indicators with weights, reflecting the relative importance of indicators in different time periods. Preliminary results of the proposed approach in the framework of a research prototype information-analytical system demonstrates its effectiveness.

Keywords: socio-economic system, expert technology, the hierarchy of indicators

Для эффективной разработки и обеспечения последующего функционирования сложных (например, социально-экономических) систем (СЭС) необходим специализированный информационно-аналитический инструментарий, обеспечивающий требуемое качество управления этим процессом [1, 3]. Основой поддержки принятия управленческих решений является комплекс показателей, отражающих текущее и прогнозируемое состояние системы. Однако традиционные подходы к построению оценочных показателей (метод анализа иерархий, метод аналитических сетей и др. [10, 12]) не позволяют в полной мере отразить динамику развития систем и нуждаются в дальнейшем развитии.

Цель настоящей работы состоит в создании инструментария поддержки многокритериального экспертного оценивания динамических социально-экономических систем (ДСЭС) с учетом взаимосвязей между показателями, относящимися к различным периодам времени.

Многокритериальное экспертное оценивание динамических социально-экономических систем на основе экспертных суждений

Многообразие целей, характерное для СЭС, порождает многокритериальность при их оценивании. В настоящее время для построения комплексных оценок СЭС широко используется PEST-анализ [12], позволяющий выделить политические (*Pol*), экономические (*Econ*), социальные (*Soc*) и технологические (*Tech*) аспекты системы. Дополнительным аспектом, который

целесообразно учитывать при оценивании СЭС, является инновационность (*Innov*), во многом определяющая перспективы развития системы [5, 6, 8]. Необходимость оценивания прогнозируемых состояний системы обуславливает разделение планируемых значений показателей (*Pl*) и значения показателей при действии (с некоторой вероятностью) неблагоприятных факторов (*Risk*). Например, в соответствии с построенной иерархией оценочных показателей (рисунок) показатель *PolRisk* отражает экономические (*Pol*) риски (*Risk*) при функционировании системы.

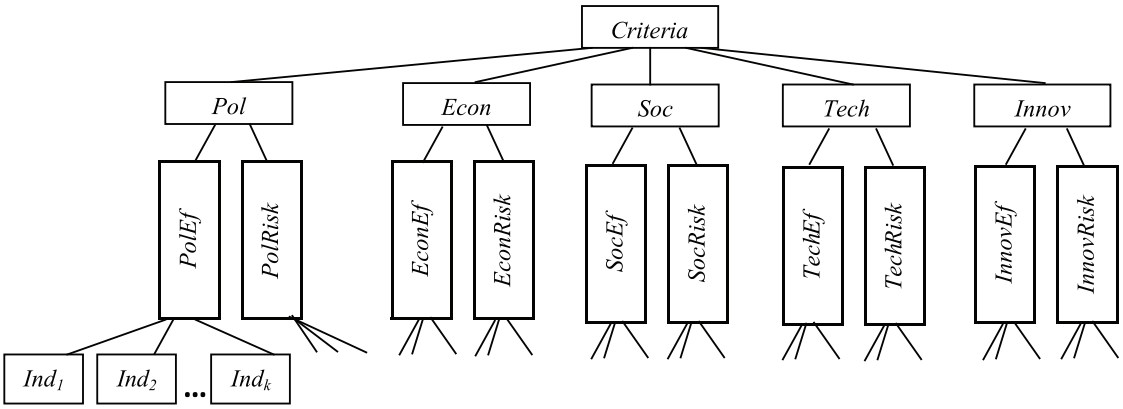
– исторической периодизации (период определяется как промежуток между значимыми событиями;

– трендовой периодизации (период определяется наличием единого тренда);

– параллельной периодизации (используется трендовая периодизация некоторого главного показателя);

– комбинированного подхода.

Интегрированное значение показателя определяется с учетом экспертных мнений об относительной значимости (для каждого показателя) каждого периода, например (как это принято в классическом варианте



Иерархия оценочных показателей социально-экономических систем

Нижний уровень иерархии (листья ориентированного графа) соответствует показателям (индикаторам, *Ind*), значения которых получены на основе экспертных заключений и приведены к единой безразмерной шкале. Показатели более высоких уровней носят интегрированный характер и получены на основе показателей предыдущего уровня. Корень иерархии (*Criteria*) представляет собой общую оценку СЭС и зачастую выступает в качестве критерия в решающем правиле при принятии управленческих решений по выбору вариантов развития системы.

Динамический характер оцениваемой системы предполагает зависимость показателей ДСЭС от времени. Кусочно-постоянная аппроксимация этой зависимости соответствует периодизации временного интервала функционирования системы T, состоящей в его разбиении на непересекающиеся подинтервалы (периоды):

$$T = \bigcup_{i=1}^{n} T_i; \quad T_i \cap T_i = \varnothing \quad \text{при } i \neq j.$$

При этом для каждого показателя возможно свое разбиение, исходя из подходов:

– календарной периодизации (год, квартал, месяц);

метода анализа иерархий [12]), в виде линейной свертки:

$$Ind = \sum_{i=1}^{n} w_i Ind^i,$$

где w_i – весовые коэффициенты периодов: $w_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$, а Ind_i – значения показателей за период T_i, $i = 1, 2, \ldots, n$.

Выделение подпериодов в составе периодов приводит к иерархической периодизации. В этом случае значения интегрированных по времени показателей определяются в виде многократной линейной свертки. Так, например, при глубине (количестве уровней) периодизации $P = 3$:

$$Ind = \sum_{i=1}^{n} w_i \left(\sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} \left(\sum_{l=1}^{n_{ij}} w_{ijl} Ind^{ijl} \right) \right); \qquad (1)$$

$$w_i, w_{ij}, w_{ijl} \geq 0; \quad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1; \quad \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1;$$

$$\sum_{l=1}^{n_{ij}} w_{ijl} = 1 \quad \text{при } i = 1, 2, \ldots, n; j = 1, 2, \ldots, n_i.$$

Иерархию показателей по периодам времени можно назвать вложенной (Nested

Time Hierarchy, NTH) в иерархию оценочных показателей системы, поскольку она может быть применена к отдельным показателям, приведенным на рис. 1. Выбор варианта применения NTH, начиная с листьевых вершин иерархического дерева ListNTH (LNTH) и до его корня RootNTH (RNTH), а также включая промежуточные варианты, порождает свой набор весовых коэффициентов относительной значимости периодов времени (Time Weights, TW), определяемых на основе экспертиз – наиболее трудоемких (и, как правило, несущих наибольшее число возможных ошибок) этапов процедуры оценивания. При этом наименьшее количество весов периодов времени подлежит определению при корневой вложенности RNTH. Например, при глубине периодизации $P = 4$ и при количестве подпериодов первого уровня – n, второго уровня – n_i ($i = 1, \ldots, n$), третьего уровня – n_{ij} ($i = 1,\ldots,n$; $j = 1, \ldots, n_i$) и четвертого уровня – n_{ijl} ($i = 1, \ldots, n$; $j = 1, \ldots, n_i$; $l = 1, \ldots, n_{ij}$) количество WT составит

$$N_{RTW} = n + \sum_{i=1}^{n} n_i + \sum_{i=1}^{n}\left(n_i \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}\right) + \\ + \sum_{i=1}^{n}\left(n_i \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij}\left(\sum_{l=1}^{n_{ij}} n_{ijl}\right)\right). \quad (2)$$

При листьевой вложенности LNTH количество весов периодов времени составит

$$N_{LTW} = \sum_{r=1}^{s} N_{TW}^{r},$$

где N_{TW}^{r}, $r = 1, 2, \ldots, s$ определяются по формулам вида (2), построенным для каждого листа (первичного индикатора) $Ind_1, Ind_2, \ldots, Ind_s$, представленного на рис. 1.

Весовые коэффициенты TW могут быть определены методом парных сравнений [12]:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} C_{ij}} \Big/ \sum_{m=1}^{n} \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} C_{mj}},$$

где коэффициенты матрицы парных сравнений C_{ij}, отражающие степень значимости индикатора Ind_i по сравнению с индикатором Ind_j, принимают значения из множества {1/9, 1/8, …, 1, 2, …, 9} или методом ранжирования [9, 10]:

$$w_i = \frac{n + 1 - R_i}{R_1 + R_2 + \ldots + R_n},$$

где R_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) – ранги рассматриваемых индикаторов.

Второй подход представляется в данном случае более предпочтительным в силу его относительной простоты.

Предлагаемый подход к учету взаимосвязей между показателями ДСЭС, относящимися к различным периодам времени, безусловно, является громоздким, поскольку предполагает необходимость использования большого числа показателей и связей, что, впрочем, по-видимому, является неизбежным. Однако этот недостаток в какой-то степени компенсируется за счет структурирования совокупности показателей и применения единообразных иерархических конструкций. При этом возрастает роль технологии измерения первичных показателей (индикаторов) системы.

Определение значений индикаторов системы на основе экспертных знаний

Измерение оценочных показателей СЭС предполагает не только определение абсолютных значений (*ValAbs*), но и экспертное оценивание (*ValVerb*) этих значений в некоторой вербальной шкале (например, в простейшей шкале <маленькое значение, среднее значение, большое значение>), отражающее значимость конкретного абсолютного значения индикатора в контексте предметной области в соответствии с правилом перехода *Scale*(*abs, verb*). Однако использование значений индикаторов в общей иерархии оценивания СЭС требует перехода от вербальных значений к относительным числовым значениям (*ValRel*), для чего используется правило *Scale*(*verb, rel*).

Для определения относительных значений индикаторов ДСЭС с использованием NTH предлагается основанная на подходе, предложенном в [7], процедура, основные этапы которой приведены в таблице.

Выполнение этапов предлагаемой процедуры измерения значений индикаторов требует привлечения трех категорий исполнителей:

– специалист, обладающий навыками измерения абсолютных значений индикаторов и обработки информации;

– эксперт, обладающий знаниями (носящими, как правило, слабо формализованный «интуитивный» характер) в предметной области, соответствующей измеряемому индикаторами;

– когнитолог (инженер по знаниям), владеющий технологиями представления и обработки знаний.

При этом для повышения объективности результатов экспертиз целесообразно привлечение разных экспертов на различных этапах процедуры измерения индикатора.

Заключительный этап предполагает анализ полученных значений индикаторов с точки зрения их чувствительности от возможных изменений экспертных суждений ([2, 8]) и соответствия другим (в некоторой степени аналогичным) результатам измерений.

Основные этапы измерения индикатора

№ п/п	Этап	Исполнитель
1.	Подготовительный этап	
1.1.	Определение диапазона возможных абсолютных значений индикатора	эксперт
1.2.	Выбор диапазона возможных вербальных значений индикатора	когнитолог, эксперт
1.3.	Выбор диапазона возможных относительных значений индикатора	когнитолог
1.4.	Построение шкалы перевода значений из абсолютной числовой шкалы в вербальную шкалу *Scale*(*abs, verb*)	когнитолог, эксперт
1.5.	Построение шкалы перевода значений из вербальной шкалы в относительную балльную шкалу *Scale*(*verb, rel*)	когнитолог,
1.6.	Периодизация временного интервала для измеряемого индикатора	эксперт
2.	Этап проведения измерений	
2.1.	Определение абсолютного значения индикатора $ValAbs_t$, $t = 0, 1, \ldots, T$	специалист
2.2.	Определение вербального значения индикатора $ValVerb_t$, $t = 0, 1, \ldots, T$	специалист
2.3.	Определение относительного значения индикатора $ValRel_t$, $t = 0, 1, \ldots, T$	специалист
3.	Заключительный этап	
3.1.	Оценка чувствительности относительного значения индикатора от изменений экспертных суждений	когнитолог, специалист
3.2.	Оценка достоверности относительного значения индикатора	эксперт

Окончательным результатом измерения является построение кортежа

$$IND = \langle Name;\ ValAbs_t,\ t = 0, 1, \ldots, T;\ ValVerb_t,$$
$$t = 0, 1, \ldots, T;\ ValRel_t,\ t = 0, 1, \ldots, T;\ Scale(abs, verb);\ Scale(verb, point)\rangle.$$

Наличие трех значений индикатора *IND* приводит к тому, что областью его допустимых значений *Dind* является декартово произведение абсолютного, вербального и относительного доменов: *Dind = Dabs´Dverb´Drel*. Использование трех типов значений формального индикатора дает возможность преобразования значений в зависимости от способа получения и цели использования данных в рамках разных иерархий оценочных показателей.

Заключение

Предложенный в работе подход к структурированию совокупности показателей динамических социально-экономических систем, основанный на использовании вложенных иерархий (NTH), позволяет учесть соотношения значимости показателей в разные периоды времени, что способствует повышению научной обоснованности управленческих решений. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы многокритериального оценивания ДСЭС свидетельствуют о его эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-07-00246 и № 15-07-05715.

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 / В.А. Ломазов, Е.В. Нестерова // 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., Ломазова В.И., Михайлова В.Л., Петросов Д.А. Информационное моделирование инновационно-инвестиционных проектов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–2. – С. 339–340.

8. Ломазов В.А., Нестерова Е.В., Петросов Д.А. Учет чувствительности результатов многокритериального оценивания от изменений экспертных суждений при выборе региональных инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 3–0. – С. 192–196.

9. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. – 400 с.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide / Global Standart. Project Management Institute, USA. – 2008. – 496 p.

11. Lomazov V.A., Nehotina V.S. An assessment of regional socio-economic projects // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 3. – С. 190–193.

12. 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 regionalnyh socialno-jekonomicheskih proektov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. no. 3. pp. 270–270.

2. Dmitriyev M.G., Lomazov V.A. Otsenka chuvstvitelnosti 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 mnogokriterialnoj ocenki regionalnyh socialno-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 / V.A. Lomazov, E.V. Nesterova // Jekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. 2013. no. 4. pp. 145–149.

6. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V. Kriterii otsenki sotsialnykh investitsionnykh innovatsionnykh proyektov v sfere zdravookhraneniya // Sovremennyye issledovaniya sotsialnykh problem (elektronnyy nauchnyy zhurnal). 2013. no. 8 (28). pp. 48.

7. Lomazov V.A., Lomazova V.I., Mikhaylova V.L., Petrosov D.A. Informatsionnoye modelirovaniye innovatsionno-investitsionnykh proyektov // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2015. no. 1–2. pp. 339–340.

8. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V., Petrosov D.A. Uchet chuvstvitelnosti rezultatov mnogokriterialnogo otsenivaniya ot izmeneniy ekspertnykh suzhdeniy pri vybore regionalnykh innovatsionno-investitsionnykh proyektov v oblasti zdravookhraneniya // Fundamentalnyye issledovaniya. 2015. no. 3–0. pp. 192–196.

9. Petrovskiy A.B. Teoriya prinyatiya resheniy. M.: Akademiya, 2009. 400 p.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide / Global Standart. Project Management Institute, USA. 2008. 496 p.

11. 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.

12. 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 ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», г. Белгород;

Жиляков Е.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.

УДК 004.42: 519.25

МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА

Паутов К.Г., Попов Ф.А.

Бийский технологический институт (филиал), ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, e-mail: pautov@bti.secna.ru

В работе описывается метод кластеризации тематических профилей пользователей, построенных на основе анализа информации о посещенных ими информационных ресурсах в сети Интернет. Показано, что использование данной информации позволяет достаточно достоверно определить тематические предпочтения пользователей. В статье детально описаны исходные данные, процессы конструирования и отбора признаков, а также эксперименты с использованием метода агломеративной иерархической кластеризации и метода k-means. Полученные результаты позволяют судить об интересах и предпочтениях отдельных пользователей и групп, а также делать выводы о том, насколько целевым является использование ресурсов Интернет в организации. Информация о кластерах пользовательских предпочтений позволяет проводить оценку эффективности работы отдельных сотрудников, выявлять информационные потребности групп пользователей и обосновывать целесообразность вложений в развитие ИТ-инфраструктуры.

Ключевые слова: машинное обучение, кластеризация, тематический профиль пользователя, определение информационных потребностей

AN APPROACH FOR CLUSTERING OF THE THEMATIC USER PROFILES AND ITS APPLICATION FOR INTERNET TRAFFIC ANALYSIS

Pautov K.G., Popov F.A.

Biysk Technological Institute (branch) of the federal government budget of educational institutions of higher education «Altai State Technical University of I.I. Polzunov», Biysk, e-mail: pautov@bti.secna.ru

In this paper we described a method for clustering thematic user profiles that are based on analysis of information about their visits of information resources on the Internet. It is shown that the use of this information allows to reliably determining the thematic preferences of users. Initial data about Internet activity of users were obtained from the log files of the proxy server. The article describes in detail the process of input data preparation, feature engineering and construction of the feature matrix, as well as experiments using the agglomerative hierarchical clustering algorithm and k-means method. Moreover, we propose a method of constructing thematic profiles of users based on the data on the amount of traffic and frequency of visits web sites within thematic categories. Obtained results allow us to judge about the interests and information preferences of individual users and groups, and to draw conclusions about the effectiveness of the use of Internet resources in the organization. The clusters of user preferences allow assessing staff performance and feasibility of investment in the development of IT infrastructure.

Keywords: machine learning, clustering, thematic user profiles, analysis of thematic preferences

В связи с интенсивным развитием телекоммуникационных технологий, увеличением скоростей передачи данных и пропускной способности каналов связи все большую актуальность приобретает задача изучения информационных потребностей пользователей.

По оценке фонда «Общественное мнение» [7] сотрудник офиса ежедневно тратит 1,5 часа рабочего времени на решение личных вопросов, общение в социальных сетях, чтение новостей, посещение развлекательных порталов и т.д. В целом такое положение дел приводит к снижению эффективности использования рабочего времени сотрудниками организации, потерям времени, связанным с нецелевым использованием ресурсов Интернет и увеличению нагрузки на каналы связи [2, 6]. Вопросы, связанные с оптимизацией потребления Интернет-трафика, и методика поэтапного сокращения затрат на Интернет-трафик и потерь рабочего времени, связанных с нецелевым использованием ресурсов сети Интернет, детально описаны в [2].

В данной статье рассмотрено применение методов интеллектуального анализа данных (data mining) для оценки эффективности использования сотрудниками организации своего рабочего времени и ресурсов сети Интернет путем построения тематических профилей пользователей, определения их информационных потребностей, а также формирования кластеров пользователей со схожими тематическими предпочтениями.

Исходными данными для анализа является информация, полученная из журнальных файлов (log-файлов) прокси-сервера [4]. Данные о каждом обращении

пользователя к ресурсам Интернет обрабатываются прокси-сервером и сохраняются в виде текстового log-файла. Каждому запросу в log-файле соответствует одна строка.

Имея достаточно данных о посещенных пользователем веб-страницах, можно вполне успешно определить тематические категории, отражающие интересы и предпочтения данного пользователя, а также сделать вполне обоснованные предположения об эффективности его работы [1, 5]. Задача осложняется тем, что количество пользователей организации может исчисляться сотнями, а число посещенных ими веб-страниц – тысячами. При этом размеры сжатого дневного журнала прокси-сервера могут достигать 100 МБ и более. Для обработки и анализа таких объемов информации необходимо использовать автоматизированные методы, базирующиеся на применении машинного обучения.

Первоначальным этапом решения задачи data mining является процесс конструирования признаков (feature engineering). Это самый трудоемкий и одновременно самый ответственный этап, от которого напрямую зависит конечный результат всей работы. В нашем случае в качестве объектов выступают пользователи организации, а в качестве признаков – тематические категории посещенных ими веб-ресурсов. Такое признаковое описание позволяет формировать тематические профили пользователей. Тематический профиль пользователя – это векторное представление его интересов и тематических предпочтений, составленное на основе анализа посещенных веб-страниц. Совокупность тематических профилей пользователей образует матрицу, где каждая строка соответствует пользователю, а каждый столбец – признаку, в качестве которого выступает тематическая категория (рис. 1).

Значения признаков вычисляются исходя из частот обращения пользователя к ресурсам, входящим в каждую тематическую категорию, и объемов входящего трафика. Для улучшения качества будущей модели производят нормализацию значений признаков, приводя их к диапазону [0...1].

После окончания этапа конструирования признаков (feature engineering), как правило, производят отбор подмножества наиболее информативных и достоверных признаков для построения модели. Это позволяет снизить объемы обрабатываемой информации, избежать переобучения и в целом улучшить качество модели. В нашем случае будем группировать ресурсы по тематическим категориям, т.к. разумно предположить, что пользователи, интересующиеся одной тематикой, могут получать информацию из различных источников. Признаки, встречающиеся не более чем у одного пользователя, будем считать неинформативными.

В результате получим матрицу «пользователь/категория», состоящую только из информативных признаков. Как правило, матрица обладает большой размерностью, и при этом является разреженной (sparse matrix). Поэтому следует использовать реализации алгоритмов машинного обучения, способные работать с такими матрицами.

Для того чтобы получить первоначальное представление о кластерной структуре исследуемых данных, воспользуемся агломеративным алгоритмом иерархической кластеризации и разобьем исходное множество объектов на несколько кластеров. Для этого вычислим попарные расстояния между объектами, построив матрицу расстояний. В качестве меры расстояния воспользуемся расстоянием Евклида. На рис. 2 представлены гистограммы распределения расстояний между объектами.

Преобладание больших расстояний между объектами свидетельствует о неоднородности исследуемых данных. То есть информационные потребности пользователей в целом довольно сильно различаются.

User_ID	Наука/	Развлечения/ Соц.сети/	Семья/ Покупки/	Компьютеры/	Бизнес/ Финансы/	СМИ/	Развлечения/ Видеохостинги/
10.2.2.112	0.0	0.0	0.127390	0.208814	0.227901	0.0	0.196162
10.2.1.202	0.0	0.335914	0.0	0.0	0.0	0.0	0.310783
10.2.1.111	0.0	0.0	0.089418	0.0	0.0	0.124309	0.348838
10.2.12.244	0.0	0.630352	0.0	0.0	0.902977	0.0	0.0
192.168.10.22	0.0	0.0	0.0	0.751444	0.0	0.425993	0.344069
10.2.2.149	0.999673	0.0	0.0	0.0	0.0	0.114259	0.110382

Рис. 1. Тематические профили пользователей. Векторное представление

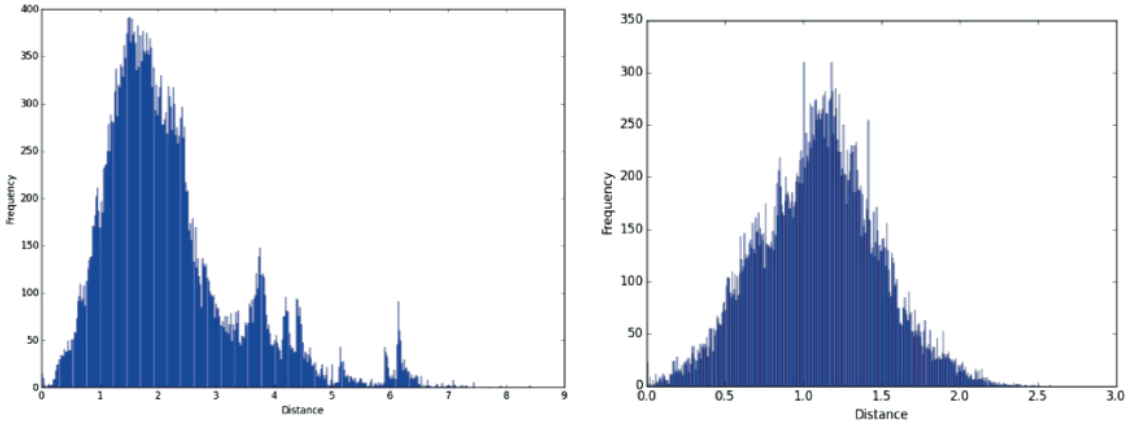


Рис. 2. Гистограммы расстояний между объектами: исходные данные без нормализации (слева), нормализованные исходные данные (справа)

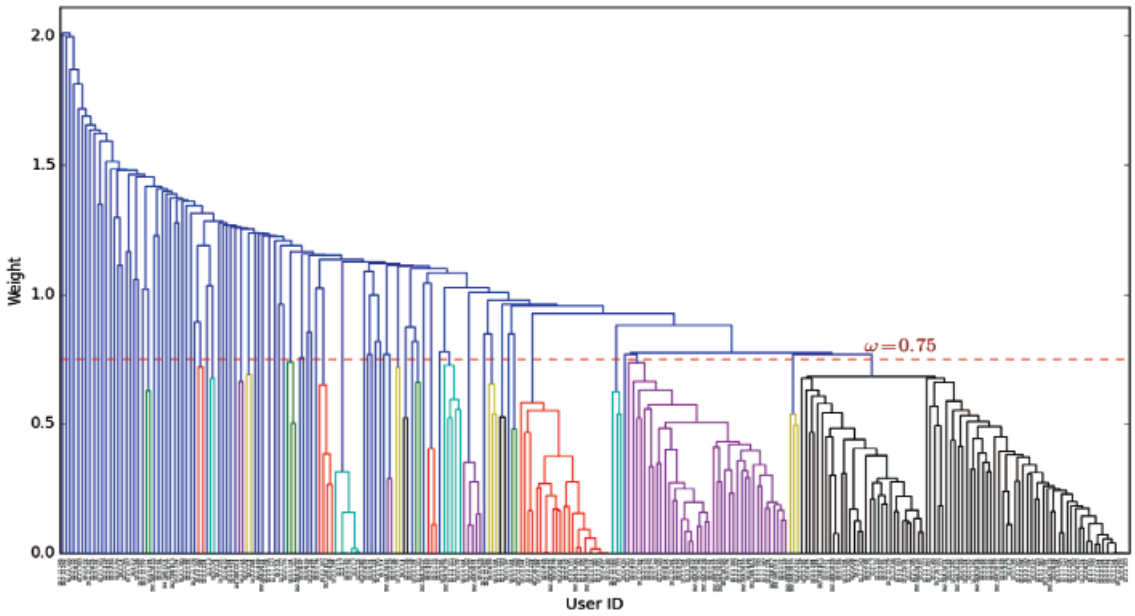


Рис. 3. Таксономия пользователей на основе анализа их тематических предпочтений. Иерархия составлена агломеративным усредняющим методом

Результаты работы алгоритма иерархической кластеризации удобно представлять графически в виде дендрограммы. При этом, как правило, задают некоторое пороговое значение уровня значимости для выделения отдельных кластеров. На рис. 3 представлена дендрограмма, изображающая кластеры, полученные при заданном пороговом значении, равном 0,75. Кластеры выделены различными цветами.

Из дендрограммы видно, что около половины объектов формируют четко выраженные кластеры. Остальная же часть объектов довольно разнородна. Это может свидетельствовать о том, что интересы и предпочтения данной части пользователей довольно индивидуальны (уникальны).

Имея представление о желаемом количестве кластеров, воспользуемся методом *k*-средних (*k*-means) [3] для проверки достоверности полученных ранее результатов и оценки их правдоподобности. Введем функционал качества кластеризации Φ_0, равный сумме средних внутрикластерных расстояний [3]:

$$\Phi_0 = \sum_{y \in Y} \frac{1}{|K_y|} \sum_{i: y_i = y} \rho^2(x_i, \mu_y) \to \min, \qquad (*)$$

где $K_y = \{x_i \in X^l \mid y_i = y\}$ – кластер с номером $y \in Y$, X^l – множество некластеризованных объектов; μ_y – центры кластеров y, ρ – евклидова метрика расстояния.

Экспериментируя с количеством кластеров и оценивая значения функционала качества (*), а также других статистических характеристик, таких как внутрикластерная дисперсия и стандартное отклонение, выберем наиболее подходящую модель кластеризации.

На рис. 4 представлены результаты кластеризации, полученные с помощью онлайн сервиса BigML Machine Learning Made Easy [8] для 16 кластеров.

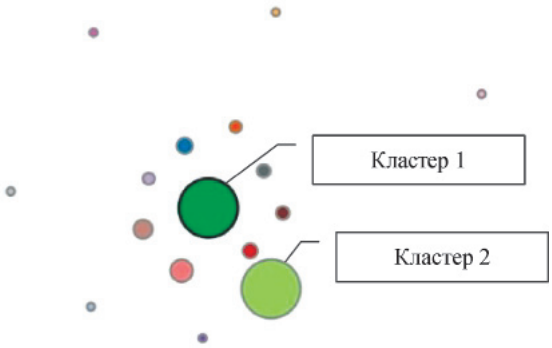


Рис. 4. Результаты работы алгоритма KMeans для 16 кластеров

Как видно из рис. 4, основная масса объектов (пользователей) разделилась на две большие группы (кластеры 1 и 2). Остальные объекты образуют мелкие кластеры. В целом такая картина подтверждает вышеописанные результаты, полученные с помощью алгоритма иерархической кластеризации.

Центры кластеров позволяют судить о признаках (рубриках), оказавших наибольшее влияние на их формирование. В частности, на формирование кластеров 1 и 2 (рис. 4) наибольшее влияние оказали рубрики «Интернет», «Социальные сети» и «Хостинги видео» соответственно. Чтобы детально оценить тематические предпочтения пользователей, входящих в эти кластеры, абстрагируемся от остальных признаков и представим объекты в виде трехмерной диаграммы, где каждая ось соответствует одному из признаков (рис. 5).

На рис. 5 видны три кластера. Пользователи кластера 1 преимущественно посещают Интернет-порталы, пользуются поисковыми системами. Пользователи кластера 2, напротив, уделяют большую часть времени просмотру видео и нахождению в социальных сетях. На предыдущем этапе с использованием метода k-means эти кластеры были объединены в один. Кластер 3 состоит из активных пользователей социальных сетей. Здесь вес остальных рубрик достаточно низкий, что вполне объяснимо, т.к. данная категория пользователей получает большую часть нужной им информации именно из социальных сетей, в том числе это касается и просмотра видео.

Говоря о нецелевом использовании ресурсов Интернет и эффективности использования рабочего времени сотрудниками, можно установить некоторый порог, поместив в начало координат сферу радиуса R. Объекты (пользователей), выходящие за границы этой сферы, будем считать расходующими ресурсы Интернет на нецелевые нужды.

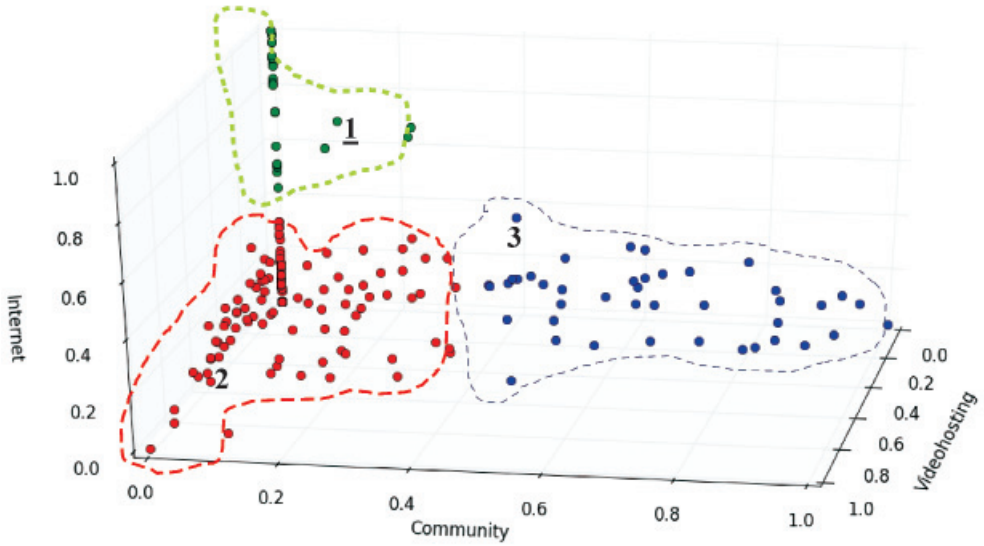


Рис. 5. Кластеры пользователей, соответствующие рубрикам «Интернет», «Соц. сети» и «Хостинги видео»

Результаты кластеризации, безусловно, зависят от многих факторов, в том числе от процесса подготовки исходных данных и выбранного метода кластеризации. Но в целом можно считать, что полученные кластеры позволяют достаточно адекватно определить предпочтения пользователей относительно выбора информационных ресурсов, просматриваемых в сети Интернет. Исследовав набор тематических категорий, оказавших наибольшее влияние на формирование кластеров, можно сделать вывод не только об информационных потребностях пользователей, но и о том, насколько эффективно сотрудники организации используют свое рабочее время.

Список литературы

1. Как узнать больше о ваших пользователях? Применение Data Mining в Рейтинге Mail.Ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://habrahabr.ru/company/mailru/blog/244285/ (дата обращения: 01.07.15).

2. Леонова Ю.В., Федотов А.М. Исследование пользовательских предпочтений для контроля и оптимизации Интернет-трафика в организации // Труды 11-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2009. – Петрозаводск, Россия, 2009. – С. 158–166.

3. Машинное обучение (курс лекций, К.В. Воронцов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.machinelearning.ru (дата обращения: 01.07.15).

4. Паутов К.Г., Попов Ф.А. Информационная система анализа и тематической классификации веб-страниц на основе методов машинного обучения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 66.

5. Паутов К.Г., Попов Ф.А. Метод тематической классификации веб-страниц и его применение в системе учета и контроля Интернет-трафика вуза // Труды XVIII Всероссийской научно-методической конференции Телематика'2011 (20–23 июня 2011 года, Санкт-Петербург). – СПб: Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2011. – С. 21–22.

6. Паутов К.Г., Попов Ф.А. Обнаружение групп пользователей со схожими предпочтениями для контроля и оптимизации интернет-трафика в вузе // Труды XXI Всероссийской научно-методической конференции Телематика-2014 (23–26 июня 2014 года, Санкт-Петербург). – СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2014. – С. 178–179.

7. Фонд Общественное мнение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fom.ru (дата обращения: 01.07.15).

8. BigML Machine Learning Made Easy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://bigml.com (дата обращения: 01.07.15).

References

1. Kak uznat bolshe o vashikh polzovatelyakh? Primenenie Data Mining v Reytinge Mail.Ru Available at: http://habrahabr.ru/company/mailru/blog/244285/ (accessed: 01.07.15).

2. Leonova Yu., Fedotov A. Issledovanie polzovatelskikh predpochteniy dlya kontrolya i optimizatsii Internet-trafika v organizatsii [Research of the user preferences for the control and Internet traffic optimisation in the organization]. Proc. of the *XI All-Russian Research Conference RCDL2009 «Digital Libraries: Advanced Methods and Technologies, Digital Collections»*. Petrozavodsk, September 17–21, 2009, pp. 158–166.

3. Mashinnoe obuchenie (kurs lektsiy, K.V. Vorontsov) Available at: http://www.machinelearning.ru (accessed: 01.07.15).

4. Pautov K.G., Popov F.A. Informatsionnaya sistema analiza i tematicheskoy klassifikatsii veb-stranits na osnove metodov mashinnogo obucheniya [An information system of web-page classification based on machine learning methods], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya,* 2012, No. 6, p. 66, Available at: http://www.science-education.ru/106-7680 (accessed: 01.07.15).

5. Pautov K.G., Popov F.A. Metod tematicheskoy klassifikatsii veb-stranits i ego primenenie v sisteme ucheta i kontrolya Internet-trafika vuza. *Trudy XXI Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii Telematika2011.* (Saint Petersburg, 20–23 June 2011). Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Saint Petersburg, 2011, pp. 21–22.

6. Pautov K.G., Popov F.A. Obnaruzhenie grupp polzovateley so skhozhimi predpochteniyami dlya kontrolya i optimizatsii internet-trafika v vuze. *Trudy XXI Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii Telematika2014.* (Saint Petersburg, 23–26 July 2014). Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Saint Petersburg, 2014, pp. 178–179.

7. Fond Obshchestvennoe mnenie Available at: http://fom.ru (accessed: 01.07.15).

8. BigML Machine Learning Made Easy Available at: http://bigml.com (accessed: 01.07.15).

Рецензенты:

Старовиков М.И., д.п.н., к.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры физики и информатики, ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина», г. Бийск;

Попок Н.И., д.т.н., профессор, нач. лаборатории ОА «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск.

УДК 65.011.56

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА В АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

[1]Петров М.Н., [2]Суетова А.А.

[1]Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнёва, Красноярск, e-mail: mnp_kafaes@mail.ru;
[2]Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Абакан, e-mail: alena_suetova2@mail.ru

Настоящая статья посвящена разработке методики математического моделирования технологического процесса ремонта в автосервисных предприятиях, позволяющая определять показатели, характеризующие качество функционирования сервисной зоны, которые дают возможность оценить степень загрузки системы, качество обслуживания поступающих заявок и снизить экономические риски, возникающие при неоптимальной организации работы сервисной зоны. Для разработки моделирующего алгоритма сервисная зона была рассмотрена как многоканальная, имеющая *kp* постов, замкнутая СМО без ограничений на очередь, однофазная с дисциплиной обслуживания FIFO. Разработаны формулы для описания функционирования математической модели. Разработанная методика была реализована в программе «Управление рисками с применением имитационного моделирования на автосервисных предприятиях». Проведено испытание (тестирование) программы на предприятии, даны рекомендации для оптимизации управления технологическим процессом ремонта.

Ключевые слова: управление технологическим процессом, сервисная зона, математическая модель, имитационное моделирование, минимизация затрат

METHODS MATHEMATICAL MODELING TECHNOLOGICAL PROCESS OF REPAIR IN THE ENTERPRISE CAR SERVICE

[1]Petrov M.N., [2]Suetova A.A.

[1]Reshetnev Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, e-mail: mnp_kafaes@mail.ru;
[2]Khakas Technical Institute – Branch of the Siberian Federal University, Abakan, e-mail: alena_suetova2@mail.ru

This article is devoted to the development of methods of mathematical modeling of the process of repair in the enterprise car service, allowing to determine the parameters describing the quality of the functioning of the service zone. Which make it possible to assess the degree of loading system, the quality of service of incoming applications and reduce economic risks arising from not optimal organization of the service area. To develop a simulation algorithm service area has been considered as a multi-channel having *kp* posts, closed queuing system without restriction on the length of the queue with discipline services FIFO. Develop a formula to describe the functioning of a mathematical model. The developed method has been implemented in the «Risk management using simulation to enterprise car service». A test (testing) program at the company, recommendations for optimizing technological process control repair.

Keywords: technological process control, service area, mathematical model, simulation, cost minimization

Повышение эффективности управления технологическим процессом ремонта для автосервисных предприятий может быть достигнуто путем оптимизации организации работы сервисной зоны. Для обеспечения качества услуг на автосервисных предприятиях производственные мощности должны быть определены по пиковому спросу, но при этом наличие ремонтных постов с низким коэффициентом загрузки увеличивает убытки от содержания сервисной зоны.

В связи с этим будет актуально научное исследование, целью которого является разработка математического аппарата и методики, позволяющих до начала строительства и реконструкции, а также в процессе функционирования автосервисных предприятий оценивать показатели эффективности работы сервисной зоны, в короткие сроки проводить оценку происходящих изменений и оценивать их влияние на состояние и перспективы развития предприятия.

Отличительной чертой автосервисных предприятий является то, что они принимают посторонние заявки, а не обслуживают только закрепленные за предприятием автомобили. При этом прибывший автомобиль покидает очередь не обслуженным в случае отсутствия свободных постов ремонта и ожидания. А это означает, что недостаточное количество постов приводит к отказам клиентам в обслуживании,

а следовательно, предприятие несет убытки, но при этом наличие излишнего числа постов приводит к их простою и владелец также несет убытки от содержания постов, имеющих низкий коэффициент загрузки. Таким образом, нахождение оптимального количества постов сервисной зоны предприятия позволяет минимизировать экономические риски группы А.

Информационная система управления технологическим процессом ремонта на автосервисном предприятии включает в себя:

1 модуль обработки статистической информации, который включает:

– модуль определения закона распределения интервалов заездов автомобилей в сервисную зону;

– модуль определения закона распределения длительности обслуживаний и ремонтов;

2 модуль моделирования, который включает:

– модуль определения основных характеристик функционирования сервисной зоны, описание функционирования математической модели представлено формулами.

Вероятность простоя сервисной зоны:

$$P_O = \frac{tvs}{tend}, \quad (1)$$

где *tvs* – время, когда все посты свободны; *tend* – время конца моделирования.

Вероятность ремонта:

$$P_{\text{отн}} = \frac{koz}{(kz + kot)}, \quad (2)$$

где *koz* – количество обслуженных заявок за время *tend*, автомобилей; *kz* – общее число заявок в системе; *kot* – количество заявок, которым отказали в обслуживании.

Вероятность отказа в ремонте:

$$P_{\text{отк}} = \frac{kot}{(kz + kot)}. \quad (3)$$

Пропускная способность сервисной зоны автомобилей в ч:

$$Q_{\text{абс}} = \frac{koz}{tend}. \quad (4)$$

Среднее количество занятых постов:

$$M[K] = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + ... + n \cdot P_n, \quad (5)$$

где P_1, P_2, …, P_n – вероятность одновременной занятости 1, 2, …, *n* постов.

Вероятность занятости 1, 2, …, *n* постов:

$$P_{1,2,\dots,n} = \frac{tr_{1,2,\dots,n}}{tend}, \quad (6)$$

где $tr_{1,2,\dots,n}$ – время одновременной занятости 1, 2, …, *n* постов.

Среднее число свободных постов:

$$M[\gamma] = n - M[K], \quad (7)$$

где *n* – количество ремонтных постов.

Среднее количество заявок в очереди:

$$M[S] = (n+1) \cdot P_{(n+1)} + \\ + (n+2) \cdot P_{(n+2)} + ... + m \cdot P_m, \quad (8)$$

где $P_{(n+1)}$, $P_{(n+2)}$, …, P_m – вероятность того, что в очереди будет одновременно 1, 2, …, *m* заявок.

Вероятность того, что в очереди будет одновременно 1, 2, …, *m* заявок:

$$P_{(n+1),(n+2),\dots,m} = \frac{tdo_{(n+1),(n+2),\dots,m}}{tend}, \quad (9)$$

где $tdo_{(n+1),(n+2),\dots,m}$ – время при заданном количестве автомобилей в очереди.

Среднее время ожидания заявки в очереди:

$$t_{\text{ср.ожид}} = \frac{\sum_{i=1}^{kz} t_{\text{ср.ожид}}}{kz}, \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^{kz} t_{\text{ср.ожид}}$ – суммарное время, в течение которого каждая заявка находилась в очереди.

Среднее время обслуживания заявки:

$$t_{\text{ср.обсл}} = \frac{\sum_{i=1}^{kz} t_{\text{ср.обсл}}}{kz}, \quad (11)$$

где $\sum_{i=1}^{kz} t_{\text{ср.обсл}}$ – суммарное время, в течение которого каждая заявка находилась на обслуживании.

Среднее время пребывания заявки в сервисной зоне, т.е. в очереди и на ремонте:

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{ср.ожид}} + t_{\text{ср.обсл}}. \quad (12)$$

Вероятность простоя всей системы:

$$P_{\text{прост.сис}} = \frac{tpv}{tend \cdot n}, \quad (13)$$

где *tpv* – суммарное время простоя всей системы.

Коэффициент простоя постов:

$$K_{\text{прост}} = \frac{M[\gamma]}{n}. \quad (14)$$

Коэффициент занятости постов:

$$K_{\text{занят}} = \frac{M[K]}{n}. \quad (15)$$

Учитывая, что для сервисной зоны автосервисного предприятия сумма вероятности отказа и вероятности ремонта в теории

должна быть равна 1, мы можем оценить погрешность моделирования:

$$pogr = \left|1 - (P_{\text{ОТН}} + P_{\text{ОТК}})\right| \cdot 100\,\%. \quad (16)$$

Полученные показатели функционирования сервисной зоны позволяют управлять технологическим процессом ремонта с учетом оценки степени загрузки системы, качества обслуживания поступающих заявок и снизить экономические риски, возникающие при не оптимальной организации работы сервисной зоны:

– модуль определения оптимальных результатов моделирования включает определение функции цели и расчет соответствующих показателей при минимальных затратах.

Обобщенная формула функции цели для управления технологическим процессом ремонта в автосервисных предприятиях, имеет вид

$$C_O = C_{oz} \cdot koz + C_{op} \cdot trp + C_{pp} \cdot tpv + C_{ot} \cdot kot, \quad (17)$$

где C_{oz} – цена обслуживания автомобиля, руб. в ч; C_{op} – затраты на содержание поста, руб. в ч; C_{pp} – цена простоя поста, руб. в ч; C_{ot} – стоимость отказа в обслуживании одной заявки, руб.; *trp* – время работы всех постов за *tend*, ч.

Модуль обработки статистической информации предназначен:

– для ввода входных параметров для моделирования работы сервисной зоны автосервисного предприятия, а именно вариационного ряда интервалов заездов автомобилей в сервисную зону и вариационного ряда длительности обслуживаний и ремонтов, затрат на содержание поста, цены простоя поста и обслуживания автомобиля, стоимости отказа, а также количества постов ожидания;

– для последующей статистической обработки экспериментальных данных вероятностными законами, вывода данных о принятом законе распределения с определенным уровнем значимости, коэффициента вариации, математического ожидания, параметров закона распределения, построения графиков теоретических вероятностей и плотностей распределения.

Модуль моделирования предназначен:

– для моделирования работы сервисной зоны, определения основных характеристик функционирования при количестве постов от 1 до 100;

– для выбора оптимального планировочного решения сервисной зоны, посредством выбора варианта, соответствующего минимальному значению функции цели, снижающему экономические риски.

На рисунке показаны фрагменты экранной формы модуля обработки статистической информации.

Разработанная методика математического моделирования технологического процесса ремонта в автосервисных предприятиях была реализована в программе «Управление рисками с применением имитационного моделирования на автосервисных предприятиях». Планирование эксперимента и проведение испытаний программы проводились на предприятии, анализ производственной деятельности которого за 2013 год позволил выявить, что средние затраты на содержание поста в час составляют 382 руб., средняя цена простоя поста в час – 240 руб., средняя цена обслуживания автомобиля – 100 руб., средняя стоимость отказа в обслуживании автомобиля – 3835 руб.,

Вид экранной формы: Вероятности распределения интервалов заезда автомобилей

количество постов ожидания равно 1. В результате сбора стохастических данных на предприятии в январе – июне 2013 г. были составлены вариационные ряды интервалов заездов автомобилей на пост диагностирования, технического обслуживания (ТО) и ремонта систем и механизмов двигателей и длительностей технических воздействий.

Обработка входных данных дала следующие результаты.

Интервалы заездов автомобилей в сервисную зону распределены по закону распределения Вейбулла – Гнеденко с уровнем значимости 0,025, коэффициент вариации – 0,92, математическое ожидание 146,3, параметр масштаба *a* – 151 мин., параметр формы *b* – 1,088.

Длительности ремонта автомобилей распределены по закону распределения Вейбулла – Гнеденко с уровнем значимости 0,1, коэффициент вариации – 0,63, математическое ожидание 209,2, параметр масштаба *a* – 234 мин., параметр формы *b* – 1,656.

Можно сделать вывод, что в заданных условиях число постов для сервисной зоны, обеспечивающее максимальный экономический эффект, должно быть равно 1, при этом часовые расходы денежных средств предприятием C_o составят 371 руб., а годовые 1131550 руб. При этом 58% прибывающих автомобилей будут поставлены для немедленного обслуживания и 42% получат отказ. Среднее время ожидания в очереди автомобилем составит 1,87 часа, а средняя длина очереди – 0,45.

Если сравнить полученные значения показателей работы сервисной зоны с одним рабочим постом при одном посте с точки зрения владельца и клиента, то получается, что вероятность обслуживания мала, то есть значительное количество клиентов покидают сервисную зону неудовлетворенными. Таким образом, потенциальные доходы владельца от указанных клиентов будут потеряны. В связи с тем, что средняя длина очереди имеет значительную величину, клиенту приходится долго стоять в очереди, прежде чем он попадет на ремонт. Клиенты, которые долго стоят в очереди, могут уйти, не дождавшись обслуживания. Все места ожидания в очереди используются достаточно эффективно, значит, вложения владельца на организацию очереди окупают затраты на нее.

Одним из критериев качества работы сервиса является полное удовлетворение запросов потребителей его услуг.

С точки зрения маркетинга качество услуг – это мера соответствия формы и содержания услуг потребностям владельца. Под качеством услуги понимаются качество и культура обслуживания клиентов, а также качество технического обслуживания и ремонта автомобиля.

Удовлетворение потребностей клиентов более важно для СТО по сравнению с эффективностью производства, поскольку эта эффективность зависит от того же клиента. Для обеспечения качества услуг производственные мощности рассчитываются по пиковому спросу, однако нельзя забывать и об экономической эффективности, иначе значительно возрастет влияние рисков, отнесенных к группе А.

Анализируя результаты расчета при числе постов, равном 2, часовые расходы денежных средств предприятием C_o составят 660 руб., а годовые 2013000 руб. При этом 86% прибывающих автомобилей будут поставлены для немедленного обслуживания и 14% получат отказ. Среднее время ожидания в очереди автомобилем составит 0,45 часа, а средняя длина очереди 0,16.

Таким образом, при сравнении двух вариантов планировки сервисной зоны: 1 ремонтный пост и 2, несмотря на то, что для увеличения прибыли и уменьшения расходов до минимума исследуемая СТО должна иметь 1 пост, а годовые расходы денежных средств предприятием при 2 постах будут выше на 881450 руб., для удовлетворения потребностей клиентов исследуемая СТО должна иметь 2 поста по ТО и ремонту двигателя.

Итак, разработанная математическая модель и информационная система управления технологическим процессом ремонта для автосервисных предприятий позволяют проводить оценку работы сервисной зоны с точки зрения минимизации затрат на их функционирование.

Список литературы

1. Завадский Ю.В. Определение оптимальных решений в задачах автомобильного транспорта. – М.: МАДИ, 1983. – 61 с.
2.Ковалев М.Я. Исследование операций. – Минск: БГУ, 2004. – 46 с.
3. Олейников А.В. Управление системой профилактики на транспорте: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01: защищена 16.07.2006: утв. 10.11.2006. – Красноярск, 2006. – 164 с.
4. Соболь И.М. Метод Монте-Карло. – М.: Наука, 1968. – 64 с.
5. Тынкевич М.А. Экономико-математические методы (исследование операций). – Кемерово, 2000. – 177 с.

References

1. Zavadskij Ju.V. Opredelenie optimalnyh reshenij v zadachah avtomobil'nogo transporta. M.: MADI, 1983. 61 p.
2. Kovalev M.Ja. Issledovanie operacij. Minsk: BGU, 2004. 46 p.
3. Olejnikov A.V. Upravlenie sistemoj profilaktiki na transporte: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.01: zashhishhena 16.07.2006: utv. 10.11.2006. Krasnojarsk, 2006. 164 p.
4. Sobol I.M. Metod Monte-Karlo. M.: Nauka, 1968. 64 p.
5. Tynkevich M.A. Jekonomiko-matematicheskie metody (issledovanie operacij). Kemerovo, 2000. 177 p.

Рецензенты:

Муслимов А.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Приборостроение», Кыргызско-Российский славянский университет им. Б. Ельцина, г. Бишкек;

Давлятов У.Р., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», Кыргызский государственный технический университет, им. И. Раззакова, г. Бишкек.

УДК 517.958:57 + 575.1/.2.08

ПРИМЕНЕНИЕ РАССТОЯНИЙ РЕДАКТИРОВАНИЯ ПРИ БИОИНФОРМАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ ГЕНОМОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Пономарева Н.С., Реброва Г.Н., Колина Е.А.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: nsponomareva@sfedu.ru

Настоящая статья посвящена особенностям применения расстояний редактирования при биоинформационном анализе генетических последовательностей для задач изучения и оценки состояния репродуктивной системы. В биоинформатике последовательность нуклеотидов ДНК представляется как последовательность символов, а генетические особенности строения допускают искажение этих последовательностей (вставки, удаления, замены и транспозиции символов) при поиске. Проведен сравнительный анализ использования расстояний редактирования Хэмминга, Левенштейна и метода n-грамм для генетических символьных последовательностей. Определены ограничения, особенности и критерии использования метрик. Разработан алгоритм выбора и применения расстояний редактирования для задач нечеткого поиска в генетических последовательностях в зависимости от возможных типов дефектов. При выборе метода учитывается длина анализируемых последовательностей, а перед анализом сходства предлагается нормирование по длине строки для сопоставления полученных результатов значений расстояний редактирования.

Ключевые слова: расстояния редактирования, биоинформационный анализ, генетические последовательности, персонифицированная медицина

APPLICATION EDIT DISTANCES BIOINFORMATIC GENOME ANALYSIS FOR ASSESSMENT OF REPRODUCTIVE SYSTEM

Ponomareva N.S., Rebrova G.N., Kolina E.A.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: nsponomareva@sfedu.ru

This article is devoted to the edit distance application features in bioinformatics analysis of genetic sequences for the reproductive system study and evaluation tasks. Nucleotides of DNA is represented as a sequence of characters, but the genetic characteristics of the structure allows the distortion of these sequences (insertion, deletion, substitution and transposition of characters) in bioinformatics search. A comparative analysis of genetic symbolic sequence use of Hamming and Levenstein distances editing and the n-grams method. Constraints, features and criteria for metrics use were determined. The selection and application distances for editing tasks fuzzy search in genetic sequence, depending on the possible types of defects algorithm were created. Method takes the length of the analyzed sequences into account. The string length of to match the normalization values of the edit distances results obtained for the proposed similarities analysis.

Keywords: edit distance, bioinformatic analysis, genetic sequence, personified medicine

Увеличение объема и повышение сложности обрабатываемых данных, структура которых представляет собой символьные последовательности требуют повышения эффективности их обработки и анализа. Задачи нечеткого поиска чаще всего возникают при коррекции ошибок, фильтрации нежелательных сообщений, обнаружении плагиата, поиске с учетом форм одного и того же слова и основаны на определении расстояния между строками. В настоящее время при сравнении геномных последовательностей активно используются алгоритмы поиска неструктурированных данных. Данные алгоритмы могут быть применены при анализе геномов для разрешении проблем репродуктивной системы и развитии персонифицированной медицины при сравнении нуклеотидных последовательностей, так как последовательность нуклеотидов ДНК может быть представлена как последовательность символов, содержащая 4 «буквы» – A, T, G, C, каждая из которых соответствует определенному нуклеотиду.

В настоящее время имеется огромное количество генетических данных, находящихся в открытом доступе на специализированных порталах. Математическая, аналитическая и программная обработка данных последовательностей имеет явное преимущество перед экспериментальными исследованиями в области трудоемкости, стоимости и времени и должна быть широко внедрена для изучения в различные сферы генетики и медицины, в том числе для задач оценки состояния репродуктивной системы.

Релевантность результатов нечеткого поиска зависит от учета искажений символов слов различных типов (вставки, удаления, замены и транспозиции символов), но генетическое строение молекулы ДНК допускает искажения. Ключевым элементом организации нечёткого поиска является выбор *меры сходства* слов или обратной функции – *функции расстояния* между словами,

часто называемой *метрикой*. Наибольшее распространение в случае нечеткого поиска подстроки в нуклеотидной строке получили *трансформационные метрики (принят термин расстояния редактирования – в* области текстового поиска) [2].

Наиболее известными расстояниями редактирования являются расстояния Хэмминга, Левенштейна, а также *n*-граммы [1, 3, 5].

Расстояние Хэмминга определяется как число позиций, в которых для двух слов одинаковой длины соответствующие символы длины [8]. В [6] приводится альтернативное определение: если две строки *Ai* и *Aj* имеют одинаковую длину *n*, расстояние Хемминга *dH* (*Ai*, *Aj*) определяется как минимальное количество подстановок (замен), необходимых для преобразования строки *Ai* в строку *Aj*.

Удовлетворяя следующим условиям, расстояние Хэмминга обладает свойствами метрики:

$$d(x, y) \geq 0;$$

$$d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y;$$

$$d(x, y) = d(y, x);$$

$$d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z).$$

Расстояние Левенштейна позволяет сравнивать строки различной длины с учетом таких искажений, как замены, вставки, и удаления. Расстояние Левенштейна равно минимальному числу элементарных операций редактирования, необходимых для преобразования одной строки в другую.

В [4] расстояние Левенштейна d_L (*Ai*, *Aj*) определяется как минимальное количество операций вставки, удаления либо замены одного символа на другой, необходимых для превращения одной строки в другую, а [6] определяет расстояние Левенштейна учитывающим только операции удаления и вставки, а расстояние, учитывающее еще и замену (подстановку), называется расстоянием преобразования d_E (*Ai*, *Aj*).

Пусть S_1 и S_2 – две строки (длиной *M* и *N* соответственно) над некоторым алфавитом, тогда расстояние $d_L(S_1, S_2)$ можно посчитать по следующей рекуррентной формуле:

$$d_L(S_1, S_2) = D(M, N),$$

где

$$D(i,j)=\begin{cases} 0\ ; & i=0,\ j=0; \\ i\ ; & j=0,\ i>0; \\ j\ ; & i=0,\ j>0; \\ \min\begin{pmatrix} D(i,j-1)+1\ , \\ D(i-1,j)+1\ , \\ D(i-1,j-1)+m(s_1\|i|, s_2\|j|) \end{pmatrix}; & j>0,\ i>0, \end{cases}$$

здесь шаг по *i* символизирует удаление (*D*) из первой строки, по *j* – вставку (*I*) в первую строку, а шаг по обоим индексам символизирует замену символа (*R*) или отсутствие изменений (*M*).

Очевидно, справедливы следующие утверждения:

$$d(S_1, S_2) = \|S_1| - |S_2\|;$$

$$d(S_1, S_2) \leq \max(|S_1|, |S_2|);$$

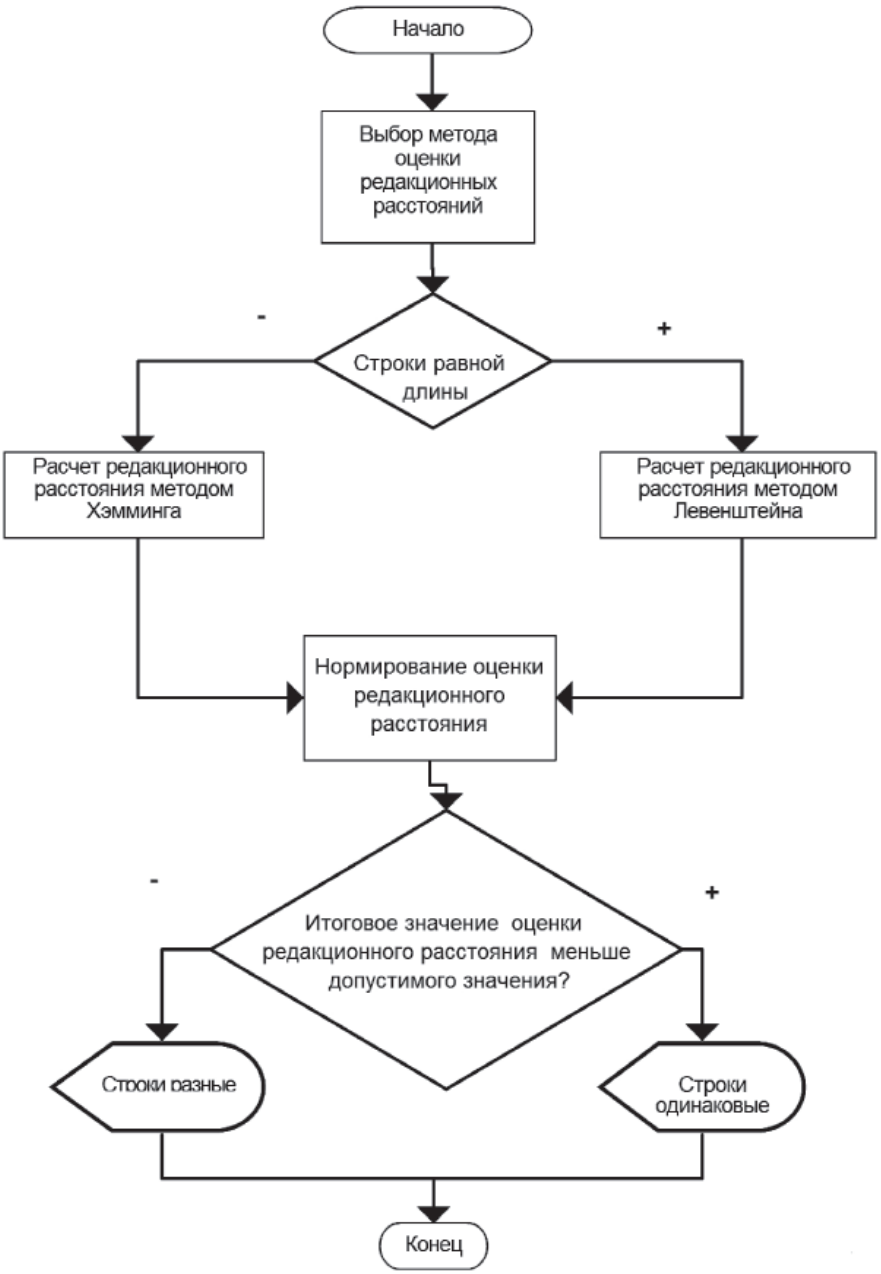
$$d(S_1, S_2) = 0 \Leftrightarrow S_1 = S_2.$$

В модификации расстояния редактирования, предложенной Дамерау [7], в множество элементарных операций включены операции перестановки (транспозиции) двух соседних символов, но при этом требуется, чтобы к транспонированным символам не применялись другие операции редактирования.

Основным недостатком расстояния редактирования Хэмминга является требование одинаковой длины строк, таким образом, расстояние Хэмминга подходит для расчета расстояния редактирования с учетом таких искажений, как замена и транспозиция, но не подходит при вставках и удалениях. Учитывать все названные искажения позволяют расстояния Левенштейна и Дамерау – Левенштейна, но при перестановке местами слов или частей слов получаются сравнительно большие расстояния [5]. Ввиду того что описанные расстояния редактирования не нормированы по длине строк, строки с одинаковым количеством допустимых искажений символов, но различной длины будут иметь одинаковое значение d_H расстояния Хэмминга, а значения расстояний Левенштейна d_L (A_i, A_j) и Дамерау – Левенштейна d_E (A_i, A_j) между совершенно разными короткими словами оказываются меньшими, чем расстояния между очень похожими длинными словами. При необходимости метрику можно нормированием по длине строки: d_H/n. Известные меры сходства Джаро [9] и Джаро – Уинклера [10] для сравнения коротких строк – коэффициенты, включающие нормирования.

Существуют различные модификации *n*-граммных расстояний, основанные на подсчете числа общих подстрок равной длины (*n-грамм*), *n*-граммами (*q*-граммами) называют множество подстрок длины *n* исходной строки. Оценка расстояния производится на основе подсчета количества различающихся *n*-грамм данного множества. Обобщением расстояния Левенштейна $dw\ (A_i,\ A_j)$ является использование матрицы весовых коэффициентов для замены символа *i* символом *j*. Это расстояние будет являться метрикой, только если матрица весовых коэффициентов симметрична [6]. Частным случаем будет вариант, учитывающий вес для каждой из операций, вне зависимости от заменяемого символа.

Задача поиска структурного или функционального элемента (мотива) в последовательности межгенного пространства, сводится к поиску подстроки в строке [1], и, несмотря на то, что размерность алфавита небольшая, равна 4, задача осложняется возможностью вставок, делеций и замен в конкретной ключевой позиции.



Алгоритм применения расстояний редактирования для задач нечеткого поиска в генетических последовательностях

Например, в последовательности

ctctagtggtcagtgttagcactgcatccagctgactcaggtgggc

необходимо определить наличие следующего мотива:

accactgcactccagcctgag.

Результаты поиска:

ctctagtggtcagtgttagcactgca.tccag.
ctgactcaggtgggc

accactgcactccagcctgag.

Сравним найденное и искомое, большими буквами обозначены замены, а точками делеции:

aGcactgca.tccag.ctgaC

accactgcactccagcctgag.

Разработан алгоритм применения расстояний редактирования для задач нечеткого поиска в генетических последовательностях (рисунок). На данный момент для оценки редакционных расстояний может быть использовано 2 метода – Хэмминга и Левенштейна. Для каждого из них есть ряд случаев, когда их рекомендуется применять, например метод Хэмминга не применим к последовательностям разной длины.

Данный алгоритм реализован и модифицирует программу для ЭВМ «Анализ нуклеотидных последовательностей ДНК с помощью точечной матрицы гомологии» при расчете сходства. Программа позволяет выявлять значимые последовательности, а также анализировать последовательности ДНК на предмет наличия прямых и инвертированных повторов заданной степени сходства при проведении визуального анализа генома и целенаправленной идентификации данных секвенирования ДНК с помощью точечной матрицы гомологий для решения задач анализа и оценки состояния репродуктивной системы.

По мере изучения строения ДНК и понимания механизмов и генетического значения вставок, удалений, замены и транспозиции нуклеотидов будут корректироваться алгоритм применения и расчет расстояний редактирования при биоинформационном анализе геномов. В то же время биоинформационные исследования генетических данных уже сейчас позволяют найти особенности и нацелить лабораторные исследования на изучение определенных участков, тем самым сократить время и стоимость исследований в целом.

Работа выполнена в рамках базовой части внутреннего гранта ЮФУ в 2015 году по проекту 213.01–2015/003ВГ «Изучение ДНК-элементов некодирующих белок в структуре различных геномов».

Список литературы

1. Бойцов Л.М.Классификация и экспериментальное исследование современных алгоритмов нечеткого словарного поиска // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды 6ой Всероссийской научной конференции. – RCDL2004. – Пущино, Россия, 2004.

2. Бондаренко А.В. Формальный метод нечеткого поиска персональной информации // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – 45 с.

3. Гасфилд Д. Строки, деревья и последовательности в алгоритмах. Информатика и вычислительная биология: пер. с англ. И.В. Романовского. – СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2003. – 654 с: ил.

4. Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений, вставок и замещений символов // Докл. АН СССР. – 1963. – № 4. – С. 845–848, 1965.

5. Прытков В.А. Функция расстояния между строками на основе кусочно-постоянной модели // Доклады БГУИР. – 2013. – URL: http://plib.unibel.by/index.php/dbsuir/article/view/1028/1017.

6. Смит У. Методы и алгоритмы вычислений на строках. – М., 2006.

7. Damerau Fred J. A technique for computer detection and correction of spelling errors // In Communications of ACM. – 1964. – Vol. 7(3). – P 171–176.

8. Hamming R.W. Error detecting and error correcting codes // The Bell System Technical Journal. – 1950. – Vol. XXIX, № 2. – P. 147–160

9. Jaro M.A. Advances in record linking methodology // Journal of the American Statistical Society. – 1989. – Vol. 84, № 406.

10. Winkler W.E. Overview of Record Linkage and Current Research Directions // Research Report Series. – 2006.

References

1. Bojcov L.M.Klassifikacija i jeksperimentalnoe issledovanie sovremennyh algoritmov nechetkogo slovarnogo poiska // Trudy 6oj Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tehnologii, jelektronnye kollekcii» RCDL2004, Pushhino, Rossija, 2004.

2. Bondarenko A.V. Formalnyj metod nechetkogo poiska personalnoj informacii // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha, 2009. 45 p.

3. Gasfild D. Stroki, derevja i posledovatelnosti v algoritmah. Informatika i vychislitelnaja biologija Per. s angl. I.V. Romanovskogo // SPb.: Nevskij Dialekt; BHV-Peterburg, 2003. 654 p: il.

4. Levenshtejn V.I. Dvoichnye kody s ispravleniem vypadenij, vstavok i zameshhenij simvolov // Dokl. AN SSSR, 1963, 4, pp. 845–848, 1965.

5. Prytkov V.A. Funkcija rasstojanija mezhdu strokami na osnove kusochno-postojannoj modeli // Doklady BGUIR, 2013. URL: http://plib.unibel.by/index.php/dbsuir/article/view/1028/1017.

6. Smit U. Metody i algoritmy vychislenij na strokah. M., 2006.

7. Damerau Fred J. A technique for computer detection and correction of spelling errors // In Communications of ACM, Vol. 7(3), pp. 171–176, 1964.

8. Hamming R.W. Error detecting and error correcting codes // The Bell System Technical Journal. 1950. Vol. XXIX, no. 2. pp. 147–160

9. Jaro M.A. Advances in record linking methodology // Journal of the American Statistical Society, vol. 84, no. 406, 1989.

10. Winkler W.E. Overview of Record Linkage and Current Research Directions // Research Report Series, 2006.

Рецензенты:

Соловьев А.Н., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону;

Елсуков В.С., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и телемеханика», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск.

УДК 681.34

КОНЦЕПЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ БЛИЗОСТИ К ИДЕАЛЬНОЙ АЛЬТЕРНАТИВЕ

[1]Тынченко В.В., [2]Царев Р.Ю.

[1]ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: 051301@mail.ru;

[2]ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: tsarev.sfu@mail.ru

Двухуровневое принятие решений характеризуется принятием решений на двух уровнях иерархии. В терминах двухуровневого принятия решений лицо, принимающее решения (ЛПР) верхнего уровня, именуется лидером, а ЛПР нижнего уровня – ведомым. Каждый из ЛПР не имеет возможности непосредственно влиять на решение другого ЛПР, однако принятое им решение отражается на решении другого уровня. Лидер и ведомый стремятся получить оптимальное решение, исходя из собственных, иногда конфликтующих, целей. При этом и перед лидером, и перед ведомым может стоять задача многоцелевого принятия решений. При принятии решений на каждом из уровней могут быть использованы классические методы принятия решений. В данной работе формализована задача двухуровневого принятия решений. Для ее решения предлагается использовать методы принятия решений, основанные на близости решения к идеальной точке или идеальной альтернативе. Таким образом, в статье предложена концепция двухуровневого принятия решений на основе близости к идеальной альтернативе. В статье рассмотрены вопросы, связанные с измерением расстояния между рассматриваемыми альтернативами и идеальной альтернативой.

Ключевые слова: двухуровневое принятие решений, мера расстояния, метрика, близость, идеальная альтернатива

CONCEPT OF TWO-LEVEL DECISION MAKING BASED ON CLOSENESS TO THE IDEAL ALTERNATIVE

[1]Tynchenko V.V., [2]Tsarev R.Y.

[1]Siberian state aerospace university named after academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: 051301@mail.ru;

[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: tsarev.sfu@mail.ru

Two-level decision making is characterized by decision making at two different levels of the hierarchy. In terms of the two-level decision making decision maker at the upper level is named the leader and decision maker at the lower level is named the follower. Each of the decision makers has no possibility to effect directly on the decision of another decision maker. However the decision reflects on the decision of another level. The leader and the follower seek the best solution based on their own, sometimes conflicting, objectives. Moreover, the leader and the follower might have a multiple objective decision making problem. When making decisions classic decision making methods can be applied at each level. In this paper the two-level decision making problem is formulated. It is proposed to use decision making methods based on closeness of solution to the ideal point or ideal alternative to solve the problem. Thus, the article presents the concept of two-level decision making based on closeness to the ideal alternative. The article discusses issues related to the measurement of the distance between alternatives and the ideal alternative.

Keywords: two-level decision making, distance measure, metric, closeness, ideal alternative

Двухуровневое принятие решений представляет собой проблему, в которой два лица, принимающих решения (ЛПР), принимают решения последовательно, один за другим. При этом принятие решений обоими ЛПР происходит на двух разных уровнях иерархии. Каждый ЛПР работает в одном и том же пространстве решений, но с различными и, возможно, конфликтующими целями. При таком подходе ЛПР нижнего уровня принимает решение, после того как принял решение ЛПР верхнего уровня. Несмотря на то, что ЛПР верхнего уровня принимает решение независимо, тем не менее на его решение может повлиять ЛПР нижнего уровня.

Идея двухуровневого принятия решений заключается в следующем: ЛПР верхнего уровня определяет цели и принимает решение, после этого он запрашивает решение от ЛПР нижнего уровня, полученное независимо, в соответствии с целями последнего. Получив решение от ЛПР нижнего уровня, ЛПР верхнего уровня рассматривает его и изменяет в соответствии с целями двухуровневого принятия решений. Затем ЛПР нижнего уровня опять принимает решение уже с учетом этого нового решения ЛПР верхнего уровня. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено удовлетворяющее решение [14].

ЛПР верхнего уровня, лидер, принимает стратегические решения. ЛПР нижнего уровня, ведомый, принимает решения в установленных рамках. Например, в каче-

стве лидера может выступать правительство, которое намерено сократить воздействие на окружающую среду и обеспечить финансовый баланс в области энергосбережения, а также уменьшить выбросы углерода. Предприятие, выступающее в роли ведомого, стремится оптимизировать свои расходы в условиях субсидирования и штрафов, определяемых правительством [13].

Двухуровневое принятие решений находит широкое применение при решении различных практических задач в технических, экономических и организационных системах. Так, в работе [6] описана двухуровневая система поддержки принятия решений, предназначенная для проектирования дорожно-транспортной сети. Предложена двухуровневая модель принятия решений, целью которой является уменьшение задержки в пути участников дорожного движения и, одновременно с этим, снижение уязвимости сети. В статье [10] разработана новая модель принятия решений, использующая двухуровневое программирование, предназначенная для планирования строительного проекта в нечеткой случайной среде с ограниченными ресурсами. Инвестор, который выступает в качестве ЛПР верхнего уровня, стремится к максимизации прибыли, тогда как подрядчик, как ЛПР нижнего уровня, пытается минимизировать затраты. Эффективность предложенной модели подтверждена при строительстве ГЭС в г. Nuozhadu, Китай. В статье [8] представлен метод формализации процесса изготовления бумаги и выполняемых при этом технологических операций. Этот метод основывается на двухуровневом принятии решений и позволяет избежать излишних итераций во время процесса изготовления бумаги. В статье [12] представлена двухуровневая система, где задача оптимизации решается на основе целочисленного линейного программирования на верхнем уровне системы, реакция на предложенное решение происходит на нижнем уровне. Разработанная система предлагается к использованию при управлении гибкими производственными системами. В статье [15] предложена модель двухуровневого программирования, предназначенная для выбора места размещения нефтедобывающей платформы с учетом ограниченных ресурсов и стохастического характера изменения цен на нефть. На верхнем уровне модели принятие решений происходит на основе адаптивного алгоритма оптимизации, алгоритм поиска с запретами используется на нижнем уровне принятия решений и обеспечивает верификацию решения верхнего уровня. В работе [9] предложен новый подход к выбору пути беспилотных летательных аппаратов в реальном времени на основе двухуровневого программирования. Проблема выбора оптимального пути формализована как модель лидер – ведомый. Данный подход позволяет найти оптимальный путь с учетом всех возможных путей достижения цели, обхода препятствий, длины различных путей, сглаживания траектории полета и адаптации к изменениям кинематических и сенсорных свойств беспилотного летательного аппарата.

Область применения двухуровневого программирования не ограничивается указанными выше примерами, что подтверждает важность и актуальность проблемы создания методов и средств, предназначенных для повышения эффективности двухуровневого принятия решений.

Формальное представление проблемы двухуровневого принятия решений

Пусть вектор переменных решения $x = (x_1, x_2) \in R^n$ определяется лицами, принимающими решения, двух уровней: ЛПР верхнего уровня и ЛПР нижнего уровня. Тогда ЛПР верхнего уровня может управлять вектором $x_1 \in R^{n1}$, в то время как ЛПР нижнего уровня может управлять вектором $x_2 \in R^{n2}$, где $n = n_1 + n_2$. Кроме того, предположим, что

$$F_i(x_1, x_2): R^{n1} \times R^{n2} \to R^{m_i}, i = 1, 2$$

являются векторами нелинейных целевых функций верхнего и нижнего уровней соответственно.

Проблема двухуровневого принятия решений может быть сформулирована следующим образом: решение может быть получено в том случае, если для верхнего уровня достигнута цель:

$$\max_{x_1} F_1(x_1, x_2) = \max_{x_1}(f_{11}(x_1, x_2), f_{12}(x_1, x_2), ..., f_{1m_1}(x_1, x_2)),$$

в то время как для x_2

$$\max_{x_2} F_2(x_1, x_2) = \max_{x_2}(f_{21}(x_1, x_2), f_{22}(x_1, x_2), ..., f_{2m_2}(x_1, x_2)),$$

при условии

$$x \in G = \{x = (x_1, x_2) \in R^n \mid g_i(x_1, x_2) \le 0, \ \ i = 1, 2, ..., q\} \ne \varnothing,$$

где $x_1 = (x_{11}, x_{12}, \ldots, x_{1n1})$, $x_2 = (x_{21}, x_{22}, \ldots, x_{2n2})$; G – множество ограничений; m_i, $i = 1, 2$ – количество целевых функций i-го ЛПР; q – количество ограничений.

На верхнем и нижнем уровнях могут быть использованы различные методы и алгоритмы принятия решений. В данной статье при принятии решений предлагается использовать методы, отлично зарекомендовавшие себя в задачах традиционного одноуровневого принятия решений, которые основаны на близости альтернатив к идеальной альтернативе.

Определение альтернативы, ближайшей к идеальной альтернативе

На сегодняшний день разработан ряд методов принятия решений с учетом близости к идеальной альтернативе или идеальной точке, в основе которых лежит понятие меры расстояния [1–5, 7, 11]. Идеальная альтернатива, как правило, вводится искусственно на основе лучших значений целевых функций. Выбор лучшей альтернативы из множества рассматриваемых происходит при решении задачи минимизации расстояния от текущей альтернативы до идеальной. При этом некоторые методы, в частности метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением, учитывают не только близость к идеальной наилучшей альтернативе, но и удаленность от идеальной наихудшей альтернативы [4].

Рассмотрим вектор целевых функций $F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x))$ в m-целевом пространстве. Тогда идеальной альтернативе будет соответствовать вектор

$$F^* = \left(f_1^*, f_2^*, \ldots, f_m^*\right),$$

где $f_j^* = \max\limits_{x \in G} f_j(x)$, $j = 1, 2, \ldots, m$. Для идеальной наихудшей альтернативы в этом случае можно определить вектор

$$F^- = \left(f_1^-, f_2^-, \ldots, f_m^-\right),$$

где $f_j^- = \max\limits_{x \in G} f_j(x)$, $j = 1, 2, \ldots, m$. В качестве меры близости может использоваться L_p-метрика, которая определяет расстояние между двумя точками $F(x)$ и F^*:

$$d_p = \left\{ \sum_{j=1}^{m} \lambda_j^p \left[f_j^* - f_j(x) \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, p = 1, 2, \ldots, \infty,$$

где λ_j, $j = 1, \ldots, m$ – относительная важность (вес) цели.

Если целевые функции $f_j(x)$, $j = 1, \ldots, m$, несоизмеримы, то необходимо их нормализовать: функции масштабируются и представляются в безразмерном виде на интервале [0, 1]. Для этого может быть использована следующая метрика:

$$d_p = \left\{ \sum_{j=1}^{m} \lambda_j^p \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, p = 1, 2, \ldots, \infty.$$

Задачу выбора альтернативы, ближайшей к идеальной, можно записать в следующем виде:

$$\min_{x \in G} d_p = \left\{ \sum_{j=1}^{m} \lambda_j^p \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}},$$

$$p = 1, 2, \ldots, \infty.$$

Выбор значения параметра p отражает способ обеспечения компромисса между целями. Параметр p определяет баланс между общей полезностью и максимальной индивидуальной уступкой. С увеличением значения p общая полезность (расстояние d_p) уменьшается, т.е. $d_1 \geq d_2 \geq \ldots \geq d_p$ и наибольшее внимание уделяется наибольшему отклонению при определении конечного результата. Так, $p = 1$ подразумевает равную важность (вес) для всех отклонений. При $p = 2$ веса отклонений пропорциональны величине отклонений. Наконец, для $p = \infty$ наибольшее отклонение полностью доминирует при определении расстояния, а L_∞-метрика имеет вид

$$d_\infty = \max_j \left\{ \lambda_j \left[f_j^* - f_j(x) \right] \right\}$$

или

$$d_\infty = \max_j \left\{ \lambda_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right] \right\}.$$

Заключение

Двухуровневое принятие решений представляет собой процесс взаимосвязанного принятия решений лицами, принимающими решения, верхнего и нижнего уровней с целью получения оптимального результата, основываясь на компромиссе при достижении целей ЛПР обоих уровней иерархии. Проведенный анализ литературных источников показал необходимость и актуальность разработки новых методов и подходов, позволяющих повысить эффективность решения задачи двухуровневого принятия решений. В статье представлена формализация данной проблемы при принятии решений на двух уровнях иерархии. Принятие решений на каждом из уровней может выполняться с применением существующих методов и алгоритмов с учетом особенностей проблемной области. В данной работе

предложена концепция двухуровневого принятия решений на основе близости к идеальной альтернативе, что позволяет использовать широко известные методы принятия решений, основанные на близости рассматриваемых альтернатив к идеальной альтернативе, которые уже подтвердили свою эффективность при решении различных практических задач.

Список литературы

1. Ковалев И.В. Комбинированный метод формирования мультиверсионного программного обеспечения управления космическими аппаратами / И.В. Ковалев, Р.Ю. Царев // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 9. – С. 8–14.

2. Ковалев И.В. Учет субъективных предпочтений ЛПР при мультиверсионном проектировании АСУ / И.В. Ковалев, М.Ю. Слободин, Р.Ю. Царев // Системы управления и информационные технологии. – 2005. – № 1(18). – С. 44–49.

3. Царев Р.Ю. Методология многоатрибутивного формирования мультиверсионного программного обеспечения сложных систем управления и обработки информации: монография; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2011. – 210 с.

4. Царев Р.Ю. Модификация метода упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением для решения задач многоцелевого принятия решений // Информационные технологии. – 2007. – № 7. – С. 19–23.

5. Царев Р.Ю. Fuzzy-метод формирования структуры мультиверсионного программного обеспечения информационно-управляющих систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – № 12. – С. 72–75.

6. Chiou S.-W. A bi-level decision support system for uncertain network design with equilibrium flow (2015) Decision Support Systems, 69. – P. 50–58.

7. Hwang C.L., Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Heidelberg, 1981.

8. Linnala M., Hämäläinen J. Bi-level optimization in papermaking process design // Nordic Pulp and Paper Research Journal. – 2012. – № 27 (4). – P. 774–782.

9. Liu W., Zheng Z., Cai K.-Y. Bi-level programming based real-time path planning for unmanned aerial vehicles // Knowledge-Based Systems. – 2013. – № 44. – P. 34–47.

10. Ma Y., Xu J. A novel multiple decision-maker model for resource-constrained project scheduling problems // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2014. – № 41 (6). – P. 500–511.

11. Opricovic S., Tzeng G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods // European Journal of Operational Research. – 2007. – № 178 (2). – P. 514–529.

12. Pach, C., Adam, E., Berger, T., Trentesaux, D. Switching between levels of decision making in MAS organisation: Application to flexible assembly cells // 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS. – 2014. – № 2. – P. 1673–1674.

13. Wang H.-F. Multi-level subsidy and penalty strategy for a green industry sector // Proceedings – IEEE 9th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, DASC 2011, art. – 2011. – № 6118904. – P. 776–783.

14. Wang L., Ye J., Wan Z., Ji, C. A dual approach method for solving a class of bi-level linear programming system // Advances in Modelling and Analysis A. – 2008. – № 45 (1–2). – P. 27–35.

15. Yuan, S.-B., Liu, T. Programming model for the site selection of offshore platforms based on stochastic oil price and its solution / Xian Shiyou Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban) // Journal of Xian Shiyou University, Natural Sciences Edition. – 2012. – № 27 (6). – P. 84–87.

References

1. Kovalev I.V., Tsarev R.Yu. *Kombinirovannyj metod formirovanija mul'tiversionnogo programmnogo obespechenija upravlenija kosmicheskimi apparatami* [Combined method of multiversion spacecraft control software design]. Aerospace Instrument-Making, 2006, no. 9, pp. 8–14.

2. Kovalev I.V., Slobodin M.Yu., Tsarev R.Yu. *Uchet subektivnyh predpochtenij LPR pri multiversionnom proektirovanii ASU* [Account of subjective preferences of expert at multiversion projection of automated control system]. Control systems and information technologies, 2005, no. 1, pp. 44–49.

3. Tsarev R.Yu. *Metodologija mnogoatributivnogo formirovanija multiversionnogo programmnogo obespechenija slozhnyh sistem upravlenija i obrabotki informacii* [Methodology of multiple attribute formation of multiversion software for complex control and information processing systems]. Krasnojarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2011, 210 p.

4. Tsarev R.Yu. *Modifikacija metoda uporjadochennogo predpochtenija cherez shodstvo s idealnym resheniem dlja reshenija zadach mnogocelevogo prinjatija reshenij* [Modification of technique for order preference by similarity to ideal solution for multi-objective decision making problems]. Information technologies, 2007, no. 7, pp. 19–23.

5. Tsarev R.Yu. *Fuzzy-metod formirovanija struktury multiversionnogo programmnogo obespechenija informacionno-upravljajushhih sistem* [Fuzzy-method of multiple version software structure design for information control systems]. Information-measuring and control systems, 2007, no. 12, pp. 72–75.

6. Chiou S.-W. A bi-level decision support system for uncertain network design with equilibrium flow (2015) Decision Support Systems, 69, pp. 50–58.

7. Hwang C.L., Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Heidelberg, 1981.

8. Linnala M., Hämäläinen J. Bi-level optimization in paper making process design (2012) Nordic Pulp and Paper Research Journal, 27 (4), pp. 774–782.

9. Liu W., Zheng Z., Cai K.-Y. Bi-level programming based real-time path planning for unmanned aerial vehicles (2013) Knowledge-Based Systems, 44, pp. 34–47.

10. Ma Y., Xu J. A novel multiple decision-maker model for resource-constrained project scheduling problems (2014) Canadian Journal of Civil Engineering, 41 (6), pp. 500–511.

11. Opricovic S., Tzeng G.-H. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods (2007) European Journal of Operational Research, 178 (2), pp. 514–529.

12. Pach C., Adam E., Berger T., Trentesaux D. Switching between levels of decision making in MAS organisation: Application to flexible assembly cells (2014) 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2014, 2, pp. 1673–1674.

13. Wang H.-F. Multi-level subsidy and penalty strategy for a green industry sector (2011) Proceedings – IEEE 9th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, DASC 2011, art. no. 6118904, pp. 776–783.

14. Wang L., Ye J., Wan Z., Ji C. A dual approach method for solving a class of bi-level linear programming system (2008) Advances in Modelling and Analysis A, 45 (1-2), pp. 27–35.

15. Yuan S.-B., Liu, T. Programming model for the site selection of offshore platforms based on stochastic oil price and its solution (2012) Xian Shiyou Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Xian Shiyou University, Natural Sciences Edition, 27 (6), pp. 84–87.

Рецензенты:

Бронов С.А., д.т.н., профессор, руководитель научно-учебной лаборатории систем автоматизированного проектирования кафедры систем искусственного интеллекта, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Ченцов С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Системы автоматики, автоматизированное управление и проектирование», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

УДК 539.1.043, 539.12.04

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВ ВОДЫ. КЛАССИЧЕСКИЙ И КВАНТОВЫЙ ПОДХОДЫ

Хлопков А.Ю.

Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, e-mail: khlopkov@falt.ru

Одной из наиболее сложных и до конца не решенных задач в теории образования новой фазы является процесс образования начальных ядер конденсации. Эти ядра могут иметь небольшой размер и состоять всего из нескольких молекул, называемых кластерами тел, жидкостей и газов и называемая микрокластером. Микрокластеры представляют собой мельчайшие агрегаты, включающие от двух до нескольких сотен и более атомов. Современные квантово-химические методы позволяют найти моменты инерции, частоты внутримолекулярных и межмолекулярных колебаний в кластерах, а также энергию их диссоциации. На основании этих расчетов оказывается возможным найти все термодинамические, а также кинетические характеристики кластеров. В работе произведено сравнение двух теорий для нахождения скорости зародышеобразования воды – классической и квантово-механической.

Ключевые слова: кластеры, зародышеобразование, конденсация, термодинамика натурального газа, взаимодействие молекул, классический и квантовый подходы

WATER VAPOR CONDENSATION. CLASSICAL AND QUANTUM APPROACH

Khlopkov A.Y.

Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, e-mail: khlopkov@falt.ru

Formation process of condensation's initial nucleuses is one of the most difficult and incompletely determinate problems in new phase formation theory. These nucleuses are able to have a small size and consist only of some molecules, called "clusters" or micro-cluster. Micro-cluster is the smallest units included from two to hundred and more atoms. Modern quantum-chemical methods let to find an inertia moment, frequencies of intermolecular and intermolecular oscillations in the clusters and their dissociation energy. On the basis of these calculations it's possible to calculate all the thermodynamic and also kinetic characteristics of the clusters. The clustered method underlies in thermodynamic of natural gas components. In this paper compared the two theories in order to find the nucleation rate of water- the classical and quantum mechanical.

Keywords: clusters, nucleation, condensation, thermodynamics of natural gas, classical and quantum views, molecular collisions

Одной из наиболее сложных и до конца не решенных задач в теории образования новой фазы является процесс образования начальных ядер конденсации. Эти ядра могут иметь небольшой размер и состоять всего из нескольких молекул, называемых кластерами тел, жидкостей и газов и называемая микрокластером. Микрокластеры представляют собой мельчайшие агрегаты, включающие от двух до нескольких сотен и более атомов. Современные квантово-химические методы позволяют найти моменты инерции, частоты внутримолекулярных и межмолекулярных колебаний в кластерах, а также энергию их диссоциации. На основании этих расчетов оказывается возможным найти все термодинамические, а также кинетические характеристики кластеров. В термодинамику компонент природного газа, в том числе воды и паров воды, положен кластерный подход.

Вычисление скорости зародышеобразования кластеров воды по классической теории

Классическая теория зародышеобразования создана еще в 30-е годы и опирается на два основных приближения: модель Сцилларда и жидкокапельную модель. В модели Сцилларда предполагается, что перенасыщенный пар состоит из смеси пара мономеров и кластеров, содержащих различное число молекул. Кластеры могут расти, и испарятся, присоединяя при этом или теряя только одну молекулу. В рамках этой модели можно получить для скорости стационарного изометрического зародышеобразования компактное выражение

$$J_0 = \frac{n_1\beta_1}{\left(1+\sum_{g=2}^{g_*-1}\prod_{i=2}^{g}\frac{\alpha_i}{\beta_i}\right)}, \qquad (1)$$

где n_1 – концентрация мономеров (предполагается, что пар мономеров не истощается в процессе конденсации); β_i – скорость присоединения молекулы к кластеру; α_i – скорость испарения; g_* – критический размер зародыша. Используя далее капельную модель, т.е. предполагая, что кластеры сфери-

ческие и однородные, получим для скорости нуклеации выражение

$$J_0 = an_1^2 v\sqrt{\frac{2\gamma}{\pi m}}B\exp\left[-\frac{16\pi v^2}{3(\ln S)^2}\left(\frac{\gamma}{kT}\right)^3\right],$$

где a – коэффициент прилипания; v – объем одной молекулы жидкости; γ – поверхностное натяжение; $S = \frac{P}{P_\infty}$ – пересыщение; B – поправка Варнарда, которая возникает при последовательном кинетическом подходе и которая отсутствует при расчете из классических термодинамических соображений, т.е. при вычислении работы, необходимой для создания зародыша размера g. Поверхностное натяжение для кластеров воды малых размеров было вычислено с большой точностью в работе [1] (рис. 1). Данные результаты были сделаны по расчету размера кластера по точным координатам атомов в кластере. Отсюда видно, что реальное поверхностное натяжение кластеров малых размеров на 30–50 % меньше, чем для обычных капель жидкости. g_* – в этом случае для рассматриваемых температур T = 230–250 K получается порядка 3, в то время как по классической теории $g_* \sim 5$, для данных температур.

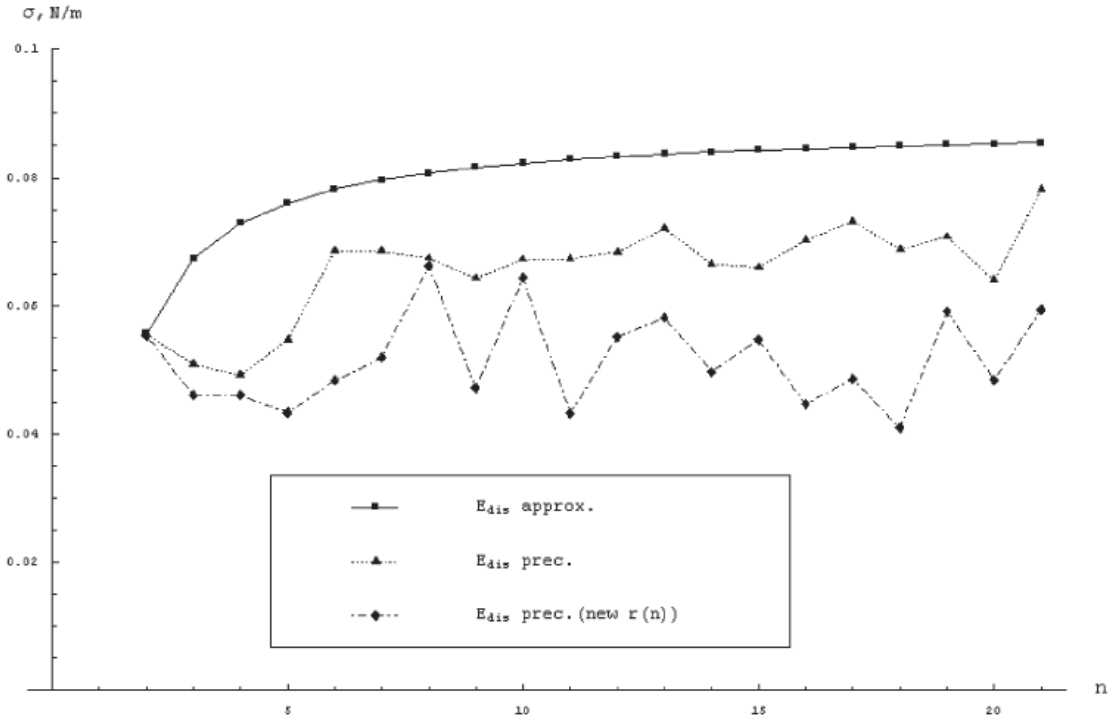


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения от размера кластера

Выражение (1) переходит в

$$J = \frac{n_1\beta_1}{\left(1+\sum_{g=2}^{g_*-1}\sigma_g\right)},$$

где

$$\sigma_g \equiv \prod_{j=2}^{g}\frac{\alpha_j}{\beta_j} = \exp\left(-\frac{(g-1)f(g_*)-\sum_{j=2}^{g}f(j)}{kT}\right).$$

Для функции $f(g)$ была взята зависимость, полученная методом молекулярной динамики в эксперименте [6]. В классической теории нуклеации скорость испарения кластера, содержащего g молекул,

$$\alpha_g = S_g \nu_\infty \exp\left(-\frac{\Delta S_g \gamma}{kT}\right),$$

где $S_g = 4\pi\left(\frac{3v}{4\pi}\right)^{2/3} g^{2/3}$ – площадь поверхности кластера, состоящего из g – молекул; v – объем одной молекулы (мономера), и тогда

$$\Delta S_g = S_g - S_{g-1} \approx \frac{2}{34} 4\pi\left(\frac{3v}{\pi}\right)^{2/3} g^{-1/3}$$ – изменение поверхности за счет испарения одной молекулы.

$$\nu_\infty = A \cdot \exp\left(\frac{-E_\infty}{kT}\right)$$ – скорость испарения с единицы площади плоской границы раздела; E_∞ – теплота испарения с плоскости.

В классической теории нуклеации скорость роста зародышей β_g выражают через число столкновений с мономерами в единицу времени:

$$\beta_g = aS_g n_1 \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}},$$

где a – коэффициент прилипания, величина неопределенная и может лежать от 0,01 до 1.

На основе вышеприведенных данных была вычислена скорость зародышеобразования для жидкокапельной модели с поправкой Варнарда (2) (рис. 2). Полученные данные были сравнены с последними экспериментальными данными работы [5]. Как видно, классический подход к теории зародышеобразования не дает удовлетворительных результатов. Далее будет использован и продемонстрирован квантово-механический подход для расчета скорости зародышеобразования.

Вычисление скорости зародышеобразования кластеров воды по квантово-механической теории

Рассмотрим систему, состоящую из газофазных молекул A_1 конденсирующегося вещества (мономеров) и молекулярных агрегатов A_n (кластеров), состоящих из двух и более молекул: $n \geq 2$. Кластер A_n размерности n обладает энергией диссоциации (разрыва связи) E_n, тремя моментами инерции $I_A(n)$, $I_B(n)$, $I_C(n)$, а также $3nl - 6$ колебательными степенями свободы, из которых $(3l - 6)n$ относятся к внутримолекулярным, а $(6n - 6)$ – к межмолекулярным колебаниям (l – число атомов в мономере).

Рассмотрим сначала упрощенную модель кластеризации, предполагая, что рост кластеров происходит за счет присоединения к ним одиночного мономера молекулы-ассоциации, а их разрушение происходит через промежуточную стадию – образование и распад активированного комплекса [2]. Опуская стадию активированного комплекса, учитывая только конечный продукт реакции, цепочка элементарных процессов образования и гибели кластеров A_n может быть записана в суммарном виде:

$$K_a(n),\ A_n + A_1 + M \Leftrightarrow A_{n+1} + M,\ K_d(n+1). \quad (2)$$

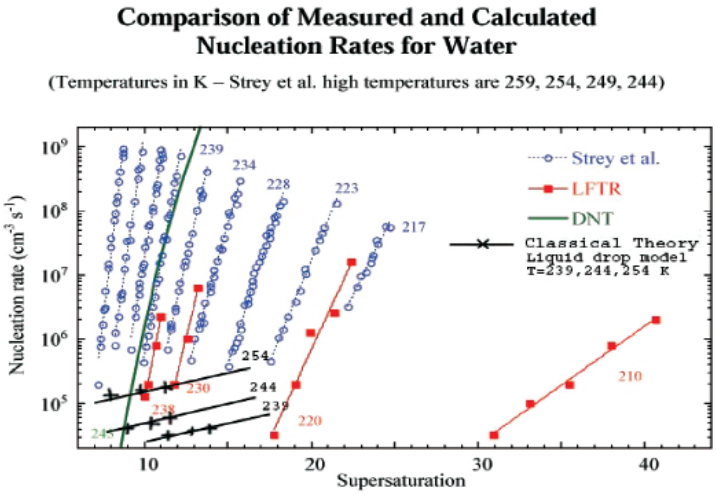


Рис. 2. Скорость зародышеобразования по классической теории (жидкокапельная модель)

Здесь M – любая молекула или кластер газовой фазы; $K_a(n)$ и $K_d(n+1)$ – константы скоростей прямых и обратных реакций; $K_a(n)$ – константа скорости присоединения мономера к кластеру A_n, а $K_d(n+1)$ – константа скорости диссоциации кластера A_{n+1} на кластер A_n и мономер.

Для концентрации N_n кластеров вида A_n на основе (2) можно записать уравнение изменения их со временем в виде [2]:

$$\frac{dN_n}{dt} = J_{n-1} - J_n, \qquad (3)$$

где $J_n = N_n N_1 M K_a(n) - N_{n+1} M K_d(n+1)$.

Здесь J_n – поток кластеров в пространстве числа мономеров в них, т.е. число кластеров, переходящих в единицу времени из точки n в точку $n+1$.

В условиях термодинамического равновесия скорость прямых и обратных реакций $K_a(n)$, $K_d(n+1)$ связаны через константу равновесия:

$$K_n = \frac{K_a(n)}{K_d(n+1)} = \frac{N_{n+1}}{N_n N_1} = \frac{P_{n+1}}{P_n P_1} kT = K_p kT.$$

Здесь $P_i = \alpha_i P$, $\alpha_i = \dfrac{N_i}{N}$ – парциальное давление и мольная доля компонента i; $K_p = \dfrac{P_{n+1}}{P_n P_1}$ – константа равновесия реакции (2), выраженная в терминах парциального давления компонентов ($[K_p]$ = атм$^{-1}$). Расчет константы скорости диссоциации кластера основан на теории мономолекулярных реакций РРКМ [4], здесь приведен только окончательный результат:

$$K_d = \frac{LQ_1^+ \exp\left(\dfrac{-E_0}{kT}\right)}{hQ_1Q_2} \int\limits_{E^+=0}^{\infty} \frac{\left[\sum\limits_{E_{vr}^+=0}^{E^+} P(E_{vr}^+)\right] \exp\left(\dfrac{-E^+}{kT}\right) dE^+}{1 + k_a(E_0 + E^+)/k_2[M]},$$

где $E^* = E^+ + E_0$;

$$k_a(E_0 + E^+) = \frac{LQ_1^+}{hQ_1 N^*(E_0 + E^+)} \sum_{E_{vr}^+=0}^{E^+} P(E_{vr}^+),$$

здесь L – число путей, эквивалентных в смысле энергетики (например, $L = 2$ для диссоциации H_2O на H и OH); Q_1 и Q_1^+ – статистические суммы для вращений в молекуле и активированном комплексе соответственно (в расчетах принималось $\dfrac{Q_1^+}{Q_1} = 1$); Q_2 – полная (колебательная и вращательная) статистическая сумма для диссоциирующей молекулы; $\left[\sum\limits_{E_{vr}^+=0}^{E^+} P(E_{vr}^+)\right]$ – количество колебательно-вращательных состояний активированного комплекса в интервале энергий $[0, E^+]$; N^* – плотность колебательно-вращательных уровней реагента. Число состояний активизированных комплексов и плотность энергии молекул реагента малых размеров подсчитывались путем прямого пересчета (для этого все частоты нормальных колебаний были разбиты на 9 групп). Для больших кластеров использовалось аналитическое приближение Виттена – Рабиновича [4]. Константа образования кластера $K_a(n)$ определялась через константу диссоциации $K_d(n+1)$ и константу равновесия K_n. В квазиравновесных условиях $dN_n/dt = 0$, следовательно, J не зависит от n, так как согласно (3) $J_n = J_{n-1} = J_0$ для любого n. В этом случае

$$J_0 = N_n N_1 M K_a(n) - N_{n+1} M K_d(n+1).$$

В равновесных условиях, когда скорости любых прямых и обратных процессов уравновешиваются

$$0 = N_n^0 N_1^0 K_a(n) - N_{n+1}^0 K_d(n+1).$$

Здесь N_n^0 – квазиравновесная функция распределения в отсутствии потока ($J_0 = 0$) и решение $N_n^0 = N_1^n \prod\limits_{j=2}^{n} \dfrac{K_a(j)}{K_d(j+1)}$; $S = \dfrac{N_1^0}{N_{1eq}}$ – пересыщение. Здесь N_1^0 – числовая плотность мономеров; N_{1eq} – равновесная числовая плотность мономеров над кластерами предельно большого размера.

$$N_{1eq} = \frac{K_d(\infty)}{K_a(\infty)} = \lim_{n\to\infty} \frac{Q_1 Q_{n-1}}{Q_n} \frac{1}{P_1^0 V} = \lim_{n\to\infty} \left[K_p(n) kT\right]^{-1};$$

$$N_{1eq} = 5{,}6757 \cdot 10^{71} \frac{T^3 A_1^{3/2}}{\sigma_1} \sqrt{I_a(1) I_b(1) I_c(1)} \left(1 - \exp\left(-\frac{\overline{\theta}}{T}\right)\right)^6 \exp\left(-\frac{E_{dis}(\infty)}{kT}\right),$$

где $E_{dis}(\infty)$ – энергия отрыва мономера от кластера бесконечно большого размера, «среднестатистическая» характеристическая колебательная температура кластера размера n – $\overline{\theta}_n$ определяется из следующего соотношения:

$$\left(1 - e^{-\frac{\overline{\theta}_n}{T}}\right)^{6n-6} = \prod_{i=1}^{6n-6} \left(1 - e^{-\frac{\theta_i(n)}{T}}\right).$$

Квазиравновесное распределение принимает вид

$$N_n^0 = N_1^0 \exp\left\{-\frac{\Delta E}{kT}(n-1)^\alpha + (n-1)\ln S\right\}\cdot n^{3/2}\left(1-\exp\left(\frac{-\bar{\theta}}{T}\right)\right)^{6(n-1)}\prod_{j=2}^{n}\left(\frac{R_j}{R_{j-1}}\right)\cdot\left(\frac{V_{j-1}}{V_j}\right)\cdot\left(\frac{\sigma_{j-1}}{\sigma_j}\right).$$

Здесь $\Delta E = E_{dis}(\infty) - E_{dis}(2)$; $E_{dis}(\infty)$ – энергия отрыва мономера от кластера бесконечно большого размера; $E_{dis}(2)$ – энергия диссоциации димера; $\alpha \in (0, 1)$ – параметр [2]. В работе [2] было получено выражение для квазиравновесного распределения кластеров, содержащих n мономеров вида

$$N_n^0 = N_1^0 \exp\left\{-\frac{\Delta E}{kT}(n-1)^\alpha + (n-1)\ln S\right\},$$

полностью совпадающее с выражением, полученным в приближении жидкокапельной модели классической теории конденсации, если

$$E_{dis}(n+1) = E_{dis}(\infty) - 4\pi\sigma\left(r_{n+1}^2 - r_n^2\right)$$

и $\alpha = 2/3$, где r_n, σ – радиус и поверхностное натяжение.

Выражение (2) отличается от классического и выражения работы [2] явным учетом структуры и энергетических характеристик межмолекулярных квантовых движений в кластере размерности n.

Статистическая сумма идеального газа с внутренними степенями свободы, состоящего из N неразличимых идентичных частиц – кластеров размерности n, равна [3]:

$$Z_n = \frac{1}{N!}Q_n^N.$$

Таким образом, для одного моля кластеров размерности n

$$\ln(Z_n) = N_A \ln\left[1{,}4949\cdot 10^{77}\frac{M_1^{3/2}T^4 n^{3/2}}{\sigma_n P}\frac{R_n}{V_n}g_e(2S_1+1)^n \exp\left(\frac{-U_n - \frac{k}{2}\sum_{s=1}^{6n-6}\theta_s(n)}{kT}\right)\right], \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро; M_1 – масса мономера; g_e – вырождение электронного уровня кластера; S_1 – ядерный спин мономера.

Знание Z_n позволяет вычислить все необходимые термодинамические функции для одного моля кластеров размерности n [3]. В квазиравновесном приближении приращение свободной энергии Гиббса может быть приведено к виду

$$\Delta G_{n,n-1}^0 = -RT\ln\left[\frac{P_1^0}{P_1}S\left(\frac{\sigma_{n-1}}{\sigma_n}\right)\left(\frac{n}{n-1}\right)^{3/2}\frac{R_n}{R_{n-1}}\frac{V_{n-1}}{V_n}\exp\left(\frac{E_{dis}(n)}{kT}\right)\left(1-\exp\left(-\frac{\bar{\theta}}{T}\right)\right)^6\right],$$

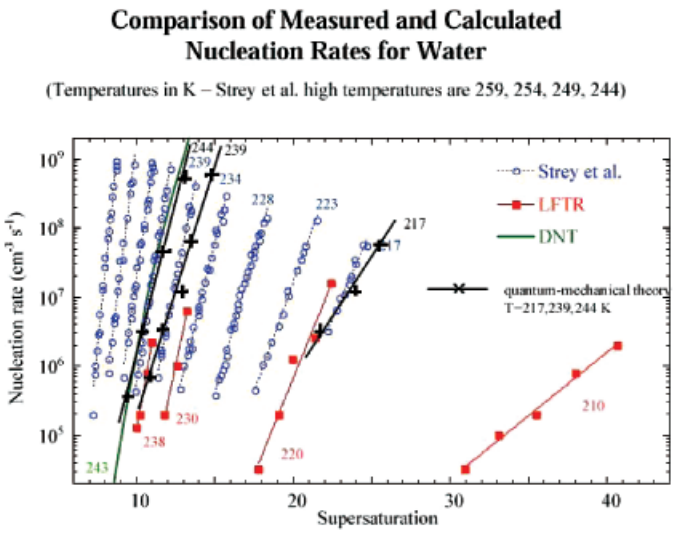


Рис. 3. Скорость зародышеобразования по квантово-механической теории для различных T (217, 239, 244, K)

Решение неоднородной системы в квазистационарном приближении ищется в виде [7]:

$$N_n = C_n N_n^0,$$

где N_n^0 – квазиравновесное распределение кластеров по размерам при ($J_0 = 0$).

Решение неоднородной системы в случае ($J_0 \neq 0$) имеет вид

$$N_n = N_n^0 \left(1 - J_0 \sum_{j=1}^{n_*-1} \frac{1}{N_1 N_j^0 K_a(j)} \right),$$

где $J_0 = \left(\sum_{j=1}^{n_*} \frac{1}{N_1 N_j^0 K_a(j)} \right)^{-1}$.

При известных константах ассоциации и диссоциации кластеров находится квазиравновесное решение N_j^0 и вычисляется число зародышей в единице объема, переходящих в единицу времени из точки n (кластера размерности n) в точку $n + 1$ (кластера размерности $n + 1$) для системы с плотностью мономеров N_1.

Числовая плотность кластеров в стационарном состоянии меньше соответствующей числовой плотности в квазиравновесном состоянии. Уменьшение числовой плотности кластеров в стационарном состоянии по сравнению с квазиравновесным тем больше, чем больше его размер n.

Для подсчета J_0 была использована компьютерная программа работы [1]. Как видно из рис. 3, при использовании данного квантово-механического подхода получается результат близкий к экспериментальному, что подтверждает необходимость использования данного подхода. Далее будет продемонстрирован квантово-механический подход для вычисления термодинамических функций кластеров воды.

Выводы

Было произведено сравнение двух теорий для нахождения скорости зародышеобразования воды – классической и квантово-механической. Основная проблема в определении скорости зародышеобразования в классической теории конденсации, как было выявлено в работах многих авторов, сводится к тому, что необходимо с большой точностью описывать поверхностное натяжение γ, которое вносит большой вклад в саму скорость. Классическая жидкокапельная модель не может дать точной величины γ для малых частиц, вследствие чего возникает расхождение с экспериментом. То есть для малых кластеров понятие γ теряет смысл. Были проведены расчеты энергий и теплоемкостей различных кластеров при различных температурах и давлениях, их вклад в общую теплоемкость системы.

В итоге получается, что для корректного описания термодинамических функций вещества, в частности воды и ее паров, необходимо учитывать вклад кластеров в общие свойства системы. В частности, ярко выражено отличие теплоемкости мономера воды и теплоемкости воды с учетом вклада димеров, тримеров и тетрамеров. Для исследования свойств кластеров и их влияния на окружающую среду необходимо привлечение квантово-механических представлений. Кроме того, развитие теории кластеров поможет лучше освоить технологию добычи клатратов метана – потенциального источника энергии в будущем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 14-07-00564-а).

Список литературы

1. Артюхин А.С., Егоров Б.В., Забабурин Е.А., Кощеев А.В., Маркачев Ю.Е., Плеханов Е.А., Уфимцев И.С., Хлопков А.Ю., Чугреев А.Л. Кинетика формирования ультралегкой фракции нейтральных и заряженных кластеров в газодинамических потоках летательного аппарата // Химическая физика. – 2004. – Т. 23, № 4. – С. 28–46.

2. Гордиец Б.Ф., Шелепин Л.А., Шмоткин Ю.С. Кинетика изотермических процессов гомогенной конденсации // Труды ФИАН. – 1984. – Т. 145. – С. 189–219.

3. Полторак О.Н. Термодинамика в физической химии. – М.: Высшая школа, 1991.

4. Робинсон П., Хольбрук К.К. Мономолекулярные реакции. – М.: Мир, 1975.

5. David J. Di Mattio. A dissertation presented to the Faculty of the Graduate School of the University of Missouri-Rolla // In partial Fulfillment of the Requirements for the Degree. – 1999.

6. Tompson S.M., Gubbins K.E., Walton J.P.R.B., Chantry R.A.R., Rowlinson J.S. A molecular dynamics study of liquid drops // J. Chem. Phys. – 1984. – Vol. 81, № 1. – P. 530–542.

7. Volmer M. Kinetik der Phasenbildung. – Dresden: Steinkopff, 1939.

References

1. Artyukhin A.S., Egorov B.V., Zababurin E.A., Koshcheev A.V., Markachev Yu.E., Plekhanov E.A., Ufimtsev I.S., Khlopkov A.Yu., Chugreev A.L. *Khimicheskaya fizika*. 2004. vol. 23, no. 4. pp. 28–46.

2. Gordiets B.F., Shelepin L.A., Shmotkin Yu.S. *Trudy FIAN*. 1984. vol. 145. pp. 189–219.

3. Poltorak O.N. *Termodinamika v fizicheskoi khimii*. Moscow, Vysshaya shkola, 1991.

4. Robinson P., Kholbruk K.K. *Monomolekulyarnye reaktsii*. Moscow, Mir, 1975.

5. David J. Di Mattio. *In partial Fulfillment of the Requirements for the Degree*, 1999.

6. Tompson S.M., Gubbins K.E., Walton J.P.R.B., Chantry R.A.R., Rowlinson J.S. *Journal of Chem. Phys*. 1984. vol. 81. no. 1. pp. 530–542.

7. Volmer M. *Kinetik der Phasenbildung*. Dresden: Steinkopff, 1939.

Рецензенты:

Николаев В.С., д.т.н., профессор, кафедра математики, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Жуковский;

Чернышев С.Л., д.ф.-м.н., профессор, ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Жуковского», г. Жуковский.

УДК 621.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗНАЧЕНИЕ БОЧКООБРАЗНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК

[1]Шелихов Е.С., [1]Черноусова А.М., [2]Ануфриенко О.С.

[1]Оренбургский государственный институт, Оренбург, Оренбург, e-mail: shelevgen@mail.ru;
[2]Орский гуманитарно-технологический институт, Орск, e-mail: osandra2882@yandex.ru

Настоящая статья посвящена исследованию факторов, влияющих на образование отклонения профиля продольного сечения от заданного чертежом при токарной обработке нежёстких заготовок – бочкообразности. Этапы исследования представлены в виде диаграммы IDEF0. Рассматриваемое отклонение определено в производственных условиях и сопоставлено с результатами расчётов, выполненными в разработанной авторами программе OptimRez. Воспроизводимость экспериментов в производственных условиях оценена по критерию Кохрена. Результаты исследования влияния факторов представлены в графической и табличной форме. Выявлено, что значения бочкообразности определяются в седьмой контрольной точке, расположенной на расстоянии 70% длины обрабатываемой поверхности от закрепления заготовки в патроне. Установлено, что для заготовок из рассматриваемых сталей влияние изменения модуля упругости на бочкообразность незначительно. Определяющими факторами являются сила резания и отношение диаметра заготовки к длине обрабатываемой поверхности. Выявлено, что при рекомендуемых параметрах резания для пластины из твёрдого сплава наибольшее влияние оказывает глубина резания. Определены условия, при которых для повышения точности токарной обработки эффективно внесение коррекции в управляющую программу станка с ЧПУ.

Ключевые слова: токарная обработка, нежёсткие заготовки, бочкообразность, параметры резания, программа OptimRez

INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING THE VALUE OF A BARREL-SHAPED FOR TURNING NON-RIGID BLANKS

[1]Shelikhov E.S., [1]Chernousova A.M., [2]Anufrienko O.S.

[1]Orenburg State University, Orenburg, e-mail: shelevgen@mail.ru;
[2]Orsky Humanities and Technology Institute, Orsk, e-mail: osandra2882@yandex.ru

The article is devoted to research of the factors influencing on formation of a deviation of a profile of longitudinal section from set by drawing when turning nonrigid blanks – barrel shape. Researching phases are presented in the IDEF0 diagram. The considered deviation is defined under working environments and compared with the results of calculations executed in the OptimRez program developed by authors. Reproducibility of experiments in working environments is estimated by Kokhren's criterion. Researching results of influence of factors are presented in a graphic and tabular form. It is revealed that values of barrel shape are defined in the seventh control point located at distance of 70% of length of the processed surface of fixing of blank in the boss. It is determinate that for blanks from considered steels influence of change of the module of elasticity on barrel shape is insignificant. The main factors are force of cutting and the relation of blank diameter to length of the processed surface. It is revealed that at the recommended cutting parameters for a plate from a firm alloy cutting depth has the greatest impact. Conditions are defined, at which for increase of accuracy of turning effectively entering of correction into the operating program of the machine with CNC.

Keywords: turning, nonrigid blank, barrel-shaped, cutting parameters, the program OptimRez

Повышение точности токарных операций на сегодняшний день является одной из основных задач машиностроения. Однако решение данной задачи при применении дорогостоящего станочного оборудования, оснащённого системами с ЧПУ, для обработки единичных или мелкими партиями нежестких заготовок, длина которых во много раз превышает диаметр, вызывает ряд проблем. Одним из частных случаев является изменение формы профиля продольного сечения заготовок при токарной обработке, связанное с образованием бочкообразного отклонения от заданного размера (погрешности) вследствие изгибающего действия силы резания. Поскольку практически во многих областях промышленности применяется большое количество рассматриваемых деталей, то решение задачи выявления эффективных путей повышения точности при их токарной обработке является актуальным.

Теоретическую основу для решения проблемы точности обработки нежёстких деталей в излагаемой постановке задачи положили Б.С. Балакшин и В.Г. Подпоркин, которые включили в исследование факторы, влияющие на деформации поверхности, и описали их воздействие математическими моделями в работах [1, 4]. В связи с возросшей актуальностью и производственной значимостью исследования продолжаются

и в настоящее время. Так, А.Л. Плотников, Ю.Л. Чигиринский, А.А. Шмаров, Д.С. Клюйков предлагают [3] для решения задачи изменять параметры резания в процессе точения, влияя на величину силы резания P, определяющую как эффективность технологического процесса, так и величину погрешности обработки. С.Л. Васильевых и В.Е. Саитов в работе [2] отмечают, что одной из главных проблем в методиках определения погрешностей обработки, включающих бочкообразную деформацию нежёстких валов, является излишнее упрощение математических моделей, и предлагают свои решения в данном направлении. Большинство учёных, рассматривая математические модели для определения погрешностей, связанных с жёсткостью обрабатываемой детали, учитывают влияние только радиальной составляющей силы резания (P_y), что справедливо для некоторых частных случаев, поскольку износ инструмента в процессе точения определяет и изменение углов резца, влияющих на величины двух других составляющих силы P – осевой P_x и тангенциальной P_z.

На основании проведенного анализа работ выделены основные факторы, влияющие на величину бочкообразности при токарной обработке нежёстких заготовок цилиндрической формы. К ним относятся: сила резания P, определяемая подачей s, глубиной резания t, скоростью резания v; отношение диаметра детали D к длине обработанной поверхности L; материал обрабатываемой заготовки, представленный модулем упругости E.

При исследовании по определению зависимостей значения бочкообразности от рассматриваемых факторов осуществлены четыре основных этапа. Представленная диаграмма на рис. 1 выполнена по методологии функционального проектирования SADT в виде диаграммы IDEF0. Она отражает основные этапы эксперимента в виде совокупности взаимосвязанных работ, на каждом из этапов выделена входная информация, которая подвергается обработке, управляющая и выходная информация, механизм реализации этапа.

Первым этапом проведены исследования в производственных условиях для выявления величины бочкообразности при токарной обработке нежёстких заготовок цилиндрической формы. На рассматриваемом этапе управляющими воздействиями являются нормы, ГОСТы и стандарты, а также характеристики режущего инструмента и используемого оборудования. С учетом данных проведённых ранее теоретических исследований в качестве обрабатываемых заготовок выбраны пять валов из стали 45, длиной 500 мм, диаметром 36,5 мм. Токарная обработка осуществлялась резцом PCLNR 2525 M12 со сменной пластиной CNMG 12412 NN LT 10 под углом в 45° за восемь проходов. Замеры диаметра деталей производились в контрольных точках, расположенных по всей длине обрабатываемой поверхности с шагом 0,1L.

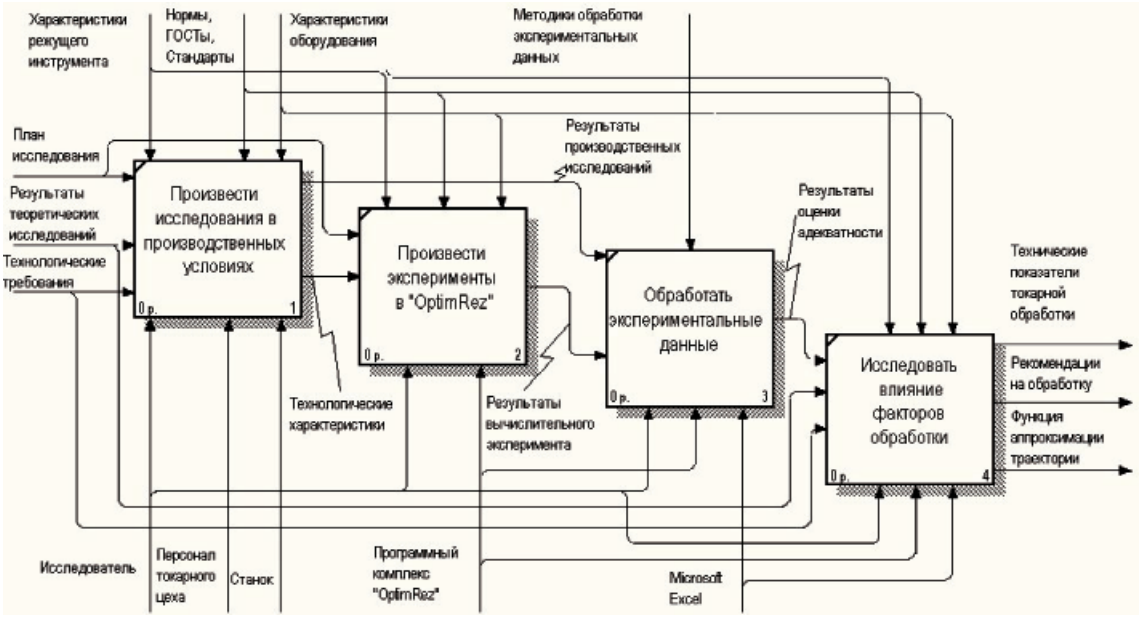


Рис. 1. Этапы исследований

На втором этапе исследования проведён эксперимент в программном комплексе OptimRez [5]. Значения параметров резания, геометрии режущего инструмента, число проходов, габариты заготовки и другие параметры задавались такими же, что и на первом этапе исследований. В программе реализованы математические модели, полученные в результате теоретических исследований. В упрощенной форме зависимость рассматриваемой погрешности Δ от координаты горизонтального перемещения режущего инструмента l представима следующим образом:

$$\Delta = \frac{K_p}{E \cdot J} \cdot \left(Al^6 + Bl^5 + Cl^4 + Dl^3\right),$$

где A, B, C, D – коэффициенты, значения которых зависят от силы резания и длины обрабатываемой заготовки; J – момент инерции заготовки; K_p – поправочный коэффициент, учитывающий нежесткостные деформации.

Результатами вычислительного эксперимента, проведённого на втором этапе, являются рассчитанные значения погрешности диаметра заготовок, полученные в контрольных точках для восьми проходов.

На этапе обработки экспериментальных данных осуществлены статистические проверки на воспроизводимость результатов эксперимента, проведенного в производственных условиях, по критерию Кохрена и адекватность математической модели. Установлено, что дисперсия однородна, результаты эксперимента воспроизводимы. Отклонения экспериментальных данных от рассчитанных при помощи Optim Rez не превышают 5 %, что допустимо и доказывает адекватность математических моделей. Максимальная погрешность при каждом проходе инструмента по обрабатываемой поверхности наблюдалась в седьмой контрольной точке или на расстоянии 336 мм от закрепления в патроне. Эту погрешность принимаем за величину бочкообразности Δ_{max}.

Последним этапом исследования проведена оценка влияния факторов обработки нежёстких деталей при помощи программных средств Optim Rez и Microsoft Excel.

Исследования зависимости P от параметров резания производились для интервалов значений, приведённых как рекомендованные для выбранного обрабатывающего инструмента фирмой-производителем: глубина резания изменялась от 1 до 3 мм с шагом в 0,2 мм, подача – 0,15 до 0,25 мм/об с шагом 0,1 мм/об и скорость резания – от 210 до 350 м/мин. На рис. 2 представлены полученные зависимости Δ_{max} от подачи при минимальных и максимальных значениях глубины и скорости резания. Полученные зависимости линейны и возрастающие.

Анализ изменения Δ_{max} от скорости резания показал, что при минимальных значениях подачи и глубины резания влияние скорости резания практически не существенно. Однако при максимальных значениях этих же параметров функция линейна и убывающая, так, например, при изменении скорости с 210 до 350 м/мин Δ_{max} уменьшилась приблизительно на 0,05 мм. С точки зрения практики это можно объяснить инерционностью системы. Исследования влияния глубины, скорости резания, модуля упругости и других параметров проведены аналогично. Аппроксимация некоторых полученных зависимостей представлена в таблице.

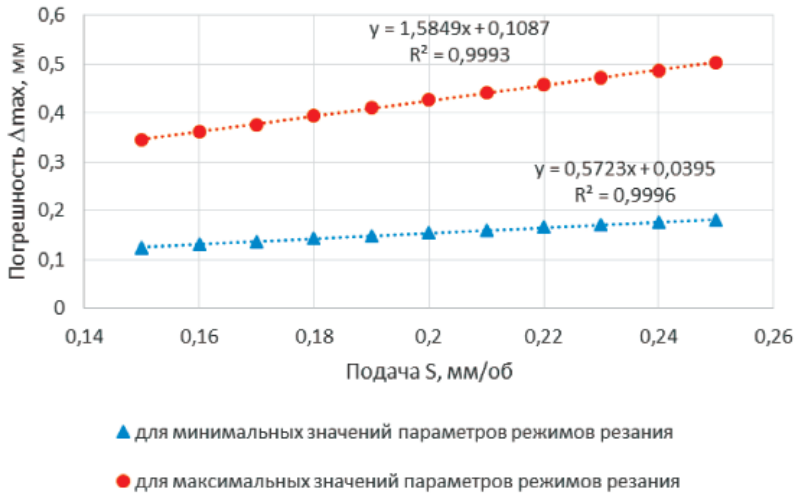


Рис. 2. Зависимость Δ_{max} от изменения подачи s

Результаты исследования влияния факторов x на Δ_{max}

Фактор	Условия	Модель	R^2
Подача, мм/об	v = 210 м/мин; t = 1 мм; $0,15 \le s \le 0,25$	$\Delta_{max} = 0,5723x + 0,0395$	0,9996
	v = 350 м/мин; t = 3 мм; $0,15 \le s \le 0,25$	$\Delta_{max} = 1,5849x + 0,1087$	0,9993
Скорость, м/мин	s = 0,15 мм/об; t = 1 мм; $210 \le v \le 350$	$\Delta_{max} = -7E\text{-}05x + 0,1387$	0,9937
	s = 0,25 мм/об; t = 3 мм; $210 \le v \le 350$	$\Delta_{max} = -0,0003x + 0,6069$	0,9937
Глубина резания, мм	s = 0,15 мм/об; v = 210 м/мин; $1 \le t \le 3$	$\Delta_{max} = 0,1249x - 0,0005$	1
	s = 0,25 мм/об; v = 350 м/мин; $1 \le t \le 3$	$\Delta_{max} = 0,1679x + 0,0002$	1
Модуль упругости, Н/мм^2	v = 210 м/мин; t = 1 мм; E = 200000 Н/мм^2; $0,15 \le s \le 0,25$	$\Delta_{max} = 0,6082x + 0,0402$	0,9998
	v = 210 м/мин; t = 1 мм; E = 210000 Н/мм^2; $0,15 \le s \le 0,25$	$\Delta_{max} = 0,5723x + 0,0395$	0,9996
	v = 210 м/мин; t = 1 мм; E = 220000 Н/мм^2; $0,15 \le s \le 0,25$	$\Delta_{max} = 0,6x + 0,029$	1
Изменение силы резания, %	$P = f(s)$	$\Delta_{max} = 6E\text{-}05x^2 + 0,003x + 0,35$	0,9997
	$P = f(t)$	$\Delta_{max} = 8E\text{-}05x^2 - 0,0006x + 0,18$	0,9926
	$P = f(v)$	$\Delta_{max} = 5E\text{-}05x^2 - 0,0054x + 0,55$	0,9998
L/D	15,5 мм $\le D \le$ 35,5 мм	$\Delta_{max} = 9E\text{-}05x^3 - 0,0028x^2 + 0,0388x - 0,1971$	1

Анализ результатов исследования влияния параметров резания на величину бочкообразности показал, что наименьшее влияние оказывает изменение скорости резания, наибольшее – изменение глубины резания в указанном диапазоне. При максимальных режимах работы Δ_{max} изменилась приблизительно на 0,34 мм, а при изменении подачи – на 0,15 мм. Стоит отметить, что увеличение s и t привело к увеличению погрешности обработки, а увеличение v, хоть и незначительно, но ее уменьшило. Следовательно, наиболее эффективным методом для снижения погрешности Δ будет варьирование глубины резания при точении, но это достаточно сложно реализовать на практике. Именно поэтому вариант варьирования подачи при максимальной скорости вращения является наиболее подходящим для практической реализации на станках с ЧПУ.

Влияние материала обрабатываемой заготовки, учитываемого в программе OptimRez модулем упругости, на значение бочкообразности незначительно. Например, при варьировании E на $2 \cdot 10^4$ Н/мм^2 погрешность изменилась на 0,01 мм.

В работе исследована зависимость Δ от отношения длины заготовки к её диаметру. При минимальных рекомендуемых параметрах резания найдены значения погрешности при изменении диаметра заготовки с 35,5 до 15,5 мм. Полученные результаты для 6, 7 и 8 контрольных точек представлены на рис. 3.

Проведенные исследования показали, что при значениях L/D до 23 погрешность изменяется в пределах от 0,01 до 0,3 мм. Так как обработка осуществлялась на минимальных параметрах резания (с минимальной P), то в этом диапазоне для повышения точности токарной обработки на станках с ЧПУ эффективно использовать оптимизацию параметров s, v, t с введением поправки в управляющую программу. В пределах L/D от 23 до 28 начинается область, где погрешность достаточно велика, но применение коррекции управляющей программы еще возможно. При L/D более 28 погрешность обработки во много раз превышает допустимую, и применение коррекции не позволит достичь технологически заданного качества поверхности заготовки.

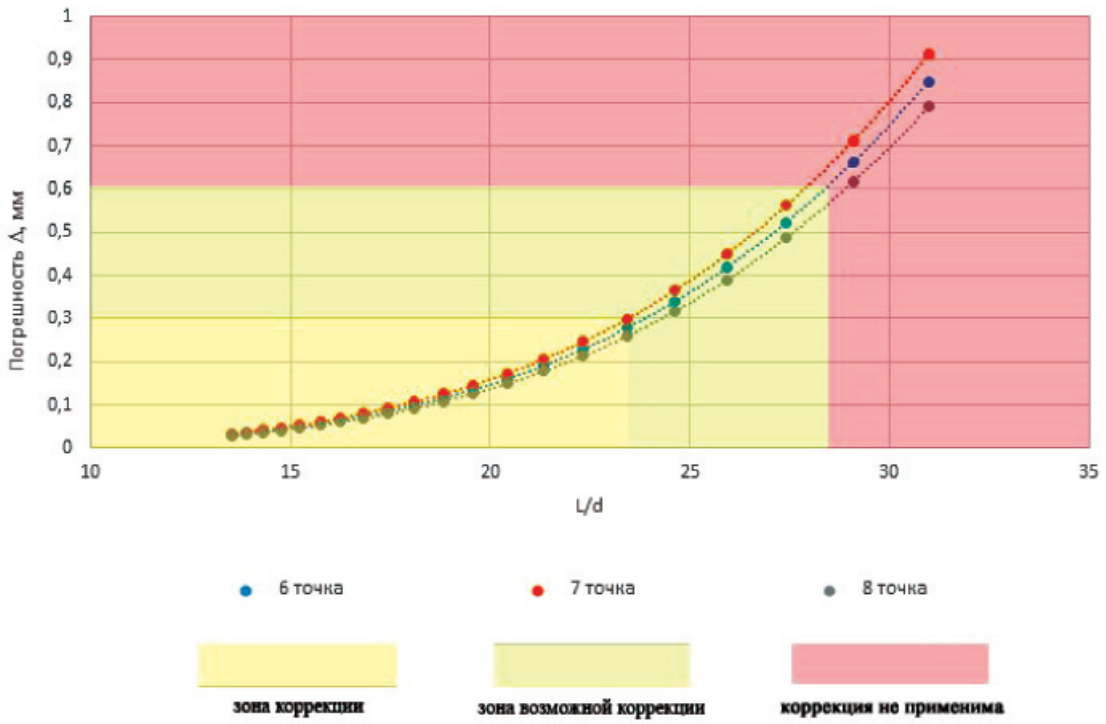


Рис. 3. Изменение погрешности Δ в зависимости от соотношения L/D

Заключение

Таким образом, при исследовании факторов, влияющих на значение бочкообразности при токарной обработке нежестких цилиндрических заготовок пластинами из твёрдого сплава, выполнены четыре этапа. Выявлено, что значение бочкообразности определяется на расстоянии 0,7*L* от закрепления заготовки в патроне. Полученные результаты позволили выполнить ранжирование факторов и определить условия, при которых для повышения точности токарной обработки эффективно внесение коррекции в управляющую программу станка с ЧПУ.

Список литературы

1. Балакшин Б.С. Самоподнастраивающиеся станки. Управление упругими перемещениями системы СПИД. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1970. – 407 с.

2. Васильевых С.Л., Саитов В.Е. Формообразование деталей малой жесткости за пределом упругости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 5 – С. 9–10.

3. Плотников А.Л., Чигиринский Ю.Л., Шмаров А.А., Клюйков Д.С. Способы регулирования точности при обработке нежёстких валов на станках с ЧПУ // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – № 100. – С. 39–43.

4. Подпоркин В.Г. Обработка нежёстких деталей: производственно – практическое издание. – М.; Л.: Машгиз, 1959. – 205 с.

5. Шелихов Е.С., Сердюк А.И., Черноусова А.М. Программный комплекс для расчета и исследования погрешности токарной обработки нежестких деталей // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1 (109). – С. 145–148.

References

1. Balakshin B.S. Samopodnastraivajushhiesja stanki. Upravlenie uprugimi peremeshhenijami sistemy SPID. Moskva, Izdatelstvo «Mashinostroenie», 1970. 407 p.

2. Vasilevyh S.L., Saitov V.E. Formoobrazovanie detalej maloj zhestkosti za predelom uprugosti (Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij), 2014, no. 5, pp. 9–10

3. Plotnikov A.L., Chigirinskij Ju.L., Shmarov A.A., Kljujkov D.S. Sposoby regulirovanija tochnosti pri obrabotke nezhjoskih valov na stankah s ChPU (Izvestija volgogradskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta), no. 100, 2012, pp. 39–43.

4. Podporkin V.G. Obrabotka nezhjostkih detalej: proizvodstvenno prakticheskoe izdanie. M.; L.: Mashgiz, 1959. 205 p.

5. Shelihov E.S., Serdjuk A.I., Chernousova A.M. Programmnyj kompleks dlja rascheta i issledovanija pogreshnosti tokarnoj obrabotki nezhestkih detalej (Programmnye produkty i sistemy), 2015, no 1 (109), pp. 145–148.

Рецензенты:

Сердюк А.И., д.т.н., профессор, директор Аэрокосмического института, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург;

Поляков А.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов Аэрокосмического института, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург.

УДК 630*812:666.974

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Проблема рационального и полного использования отходов лесопиления и деревообработки в качестве вторичного технологического сырья давно приобрела важнейшее значение и сохраняет свою актуальность до сих пор. В данной работе поставлена задача разработать математическую модель структуры и механических свойств древесного композиционного материала (ДКМ), позволяющая теоретически изучить зависимость прочностных свойств от параметров исходных компонентов, конкретно от концентрации древесины в составе композиционного материала. Сложившаяся ситуация в области образования, накопления, использования, хранения и утилизации отходов промышленного производства ведет к опасному загрязнению окружающей среды, нерациональному использованию природных ресурсов и, как следствие, к значительному экономическому ущербу. Отходы лесопиления и деревообработки в лучшем случае просто сжигаются, в худшем – сваливаются в непосредственной близости от предприятия, неблагоприятно воздействуя на экологическую обстановку и нарушая естественный баланс в локальной экосистеме. В данной статье представлены результаты научных исследований по проекту, победившему в Конкурсе премий Молодежного правительства Воронежской области при поддержке молодежных программ и проектов.

Ключевые слова: древесина, отходы, механические свойства, изделия, композиционный материал

INFLUENCE OF CONCENTRATION OF WOOD FILLER ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL

Storodubtseva T.N., Aksomitnyy A.A.

Federal State Budget Educational Institution of High Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

The problem of rational and complete waste of lumber and woodworking as a secondary raw material for a long time the process has become paramount, and remains valid until now. In this study the task to develop a mathematical model of the structure and mechanical properties of wood composite material (DKM), allowing theoretically study the dependence of the strength properties of the parameters of the starting components, particularly the concentration of wood in the composite material. The situation in the field of education, accumulation, use, storage and disposal of industrial-stroke leads to dangerous pollution of the environment, an irrational-Term use of natural resources and as a consequence, a significant economic damage. Scrap lumber and woodworking, in the best case, just burned, and at worst – dumped in the vicinity of the company, adversely affecting the environment and disturbing the natural balance of the local ecosystem. This article presents the results of research on the project, won the competition prizes Youth Government of the Voronezh region, with the support of youth programs and projects.

Keywords: wood, waste, mechanical properties, products, composite material

По сути, композиционные материалы (КМ) представляют собой термодинамические неравновесные системы, состоящие из двух или более компонентов, отличающихся по химическому составу, физико-механическим свойствам и разделенных в материале четко выраженной границей. Каждый из компонентов вводится в состав, чтобы придать ему требуемые свойства, которыми не обладает каждый из компонентов в отдельности. Комбинируя объемное соотношение компонентов, можно получать материалы с требуемыми характеристиками [4, 5].

Цель работы – разработать математическую модель структуры и механических свойств древесного композиционного материала (ДКМ), позволяющую теоретически изучить зависимость прочностных свойств от параметров исходных компонентов, конкретно от концентрации и фракционного состава древесины, технологии получения и внешних воздействий. При построении модели используются в полной мере вычислительные возможности современных компьютеров, а также принципы дискретизации объекта, высокого пространственного разрешения [3].

Структура и механические свойства композиционных материалов чрезвычайно сложны для моделирования из-за необходимости учитывать в модели несколько компонентов и все виды механической связи между ними, форму и взаимное расположение частиц компонентов в материале, распределенную в пространстве внешнюю нагрузку.

Для моделирования структуры и механических свойств древесного композиционного материала используется метод динамики частиц, который в последние десятилетия все чаще используется в различных отраслях науки и техники [1, 2, 3].

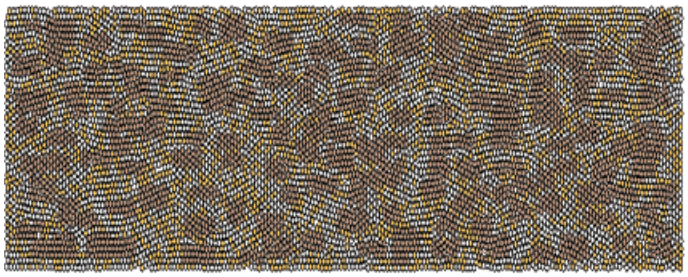


Рис. 1. Представление древесного композиционного материала в модели: выделенное темным – древесина; серым – песок; белым – полимер

Для того чтобы модель обладала высоким пространственным разрешением, моделируемый образец ДКМ разбивается на множество (1000–20000) элементов (рис. 1).

Моделирование производится в двумерном пространстве *XZ*, при этом элементы имеют одинаковую круговую форму с одинаковым диаметром $d_Э$. Элементы по своим физическим свойствам делятся на три типа (древесина, полимер, песок).

Элементы имеют возможность двигаться в процессе механических испытаний образца по законам классической механики, что приводит к изменению формы и состояния всего образца. В частности, в модели можно воспроизвести различные виды разрушения материала, механические колебания и волны.

Состояние каждого элемента-круга E_i задается четырьмя переменными: декартовыми координатами его центра (x_i, z_i) и двумя составляющими скорости (v_{xi}, v_{zi}). Механическое взаимодействие элементов между собой принято вязкоупругим, что позволяет заложить в модель основные механические свойства компонентов материала – модуль упругости, коэффициент внутреннего трения, силу адгезии. В модели учитывается, что между соседними элементами могут возникать силы отталкивания (при внедрении элементов друг в друга) или притяжения (при отдалении сцепленных элементов друг от друга) (рис. 2).

В начальный момент времени элементы случайным образом распределяются в области прямоугольной формы. Для того чтобы первоначально нестабильная механическая система пришла в механическое равновесие, в течение 1 секунды модельного времени производится интегрирование уравнений механического движения элементов. В результате этого элементы формируют плотную упаковку. После этого производится разбиение модельного композита на компоненты. В первую очередь выделяются области пространства, представляющие собой древесину.

В зависимости от концентрации и заданного фракционного состава они представляются определенной комбинацией элементов. Затем оставшиеся элементы, в соответствии с заданным составом, разделяются случайным образом на «полимер» и «песок».

Уравнения движения элементов составляются на основе второго закона Ньютона.

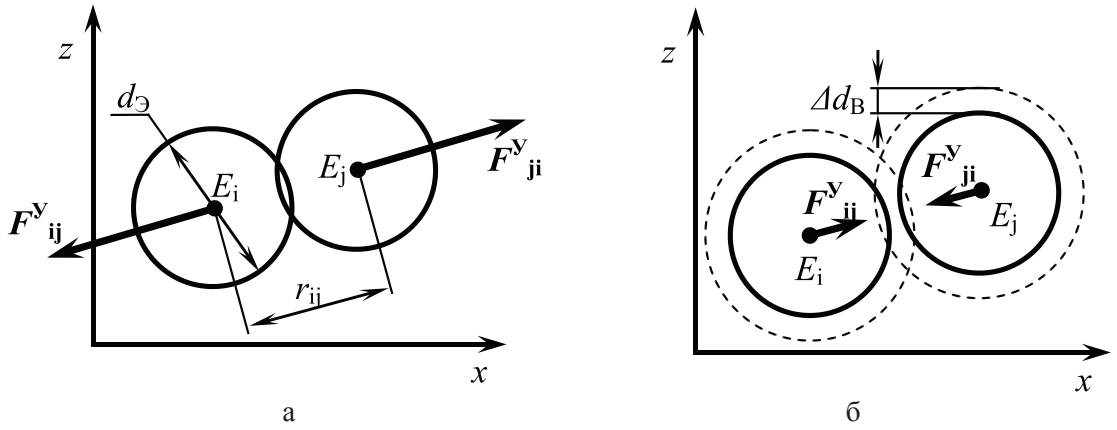


Рис. 2. Контакт сил взаимодействия элементов древесного композиционного материала: а – силы отталкивания при внедрении элементов друг в друга; б – силы притяжения при удалении элементов друг от друга до определенного расстояния

Используемые уравнения представляют собой дифференциальные уравнения второго порядка и решаются в процессе моделирования численным методом – методом Рунге – Кутты второго порядка

$$x_i^{\tau+1} = x_i^{\tau} + v_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{xi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 /2;$$
$$v_{xi}^{\tau+1} = v_{xi}^{\tau} + a_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t;$$
$$z_i^{\tau+1} = z_i^{\tau} + v_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{zi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 /2;$$
$$v_{zi}^{\tau+1} = v_{zi}^{\tau} + a_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где i – номер элемента; τ и $\tau+1$ – индексы текущего и следующего временного шага; Δt – шаг интегрирования по времени; x_i, v_i, a_i – координата, скорость, ускорение элемента.

Данный численный метод имеет второй порядок точности по координате и первый порядок точности по скорости. Метод является универсальным, надежным, а также быстро программируемым. Шаг интегрирования системы дифференциальных уравнений составлял $\Delta t = 0{,}0001$ с.

По общепринятой классификации моделей предлагаемая модель является алгоритмической, но не аналитической. Это означает, что выходные характеристики модели рассчитываются по входным не путем аналитических преобразований (это в принципе невозможно для моделируемого процесса), а с помощью пространственной и временной дискретизации и соответствующего алгоритма расчета. Расчет по приведенным выше формулам является довольно громоздким и включает в себя три цикла, вложенных один в другой: по номеру компьютерного эксперимента, по номеру временного шага и по номеру элемента.

Для решения системы дифференциальных и алгебраических уравнений, которая лежит в основе модели, разработана компьютерная программа для моделирования структуры и механических свойств древесного композиционного материала, которая разработана в среде Borland Delphi 7.0 на языке программирования Object Pascal. Программа предназначена для моделирования механического поведения древесного композиционного материала заданного состава. В процессе работы программа реализует испытание образца на изгиб, непрерывно выводит на экран компьютера изображение образца и изгибающих пуансонов, а также диаграмму напряжение-деформация.

Основные технические характеристики программы: количество элементов композита от 5000 до 20000; ориентировочное время проведения одного компьютерного эксперимента около 5 мин (при тактовой частоте процессора 3 ГГц).

В модели используется целый ряд коэффициентов, связанный с дискретизацией среды (разбиением на отдельные элементы шаровой формы): $m_э$, $d_э$, c, d. Изложим методику их определения по справочным данным для исходных компонентов.

Расчет массы одного элемента среды (древесины, полимера, или песка) $m_э$ производится с использованием табличного значения плотности материала и геометрических соображений:

$$m_э = \rho \cdot V_э = \rho \cdot \frac{4\pi}{3}\left(\frac{d_э}{2}\right)^3 \cdot k_ф = \frac{\pi}{6}\rho d_э^3 k_ф, \quad (2)$$

где ρ – объемная плотность материала, кг/м^3; $V_э$ – объем элемента, м^3; $k_ф$ – коэффициент формы, необходимый для учета того, что шарообразные элементы не заполняют пространство полностью (между элементами остаются незаполненные поры), безразмерный. Значение коэффициента $k_ф$ зависит от плотности случайной упаковки и принято равным 1,4.

Для расчета жесткости взаимодействия двух элементов используется табличное значение модуля упругости материала и также геометрические соображения, касающиеся дискретизации:

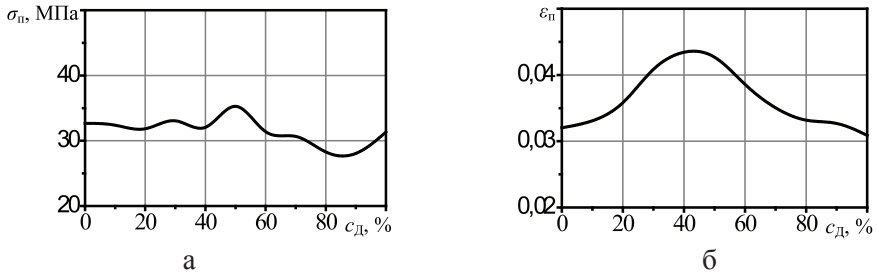
$$c_п = E \cdot \frac{\pi d}{4} k_ф, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала, Па.

Коэффициент вязкого трения d связан внутренним трением в рассматриваемой среде и определяется по справочным значениям расстояния затухания звуковых волн в данной среде.

Коэффициент α обнуления взаимодействия между соседними элементами рассчитывается по справочным значениям предельной деформации при испытании образцов материала на растяжение.

Для изучения влияния концентрации древесины $c_д$ в древесном композиционном материале проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли $c_д$ от 0 до 100 % с шагом 10 % при постоянном соотношении концентраций полимера и песка $c_{Пл}$:$c_{Пс}$ = 2:1. Обнаружено, что наилучшими механическими свойствами материал обладает при концентрации древесины около 50…55 % (концентрация полимера и песка при этом $c_{Пл}$ = 30…33 %, $c_{Пс}$ = 17…20 %). С увеличением концентрации древесины от 0 до 55 % увеличиваются $\sigma_п$ и $\varepsilon_п$, то есть увеличивается прочность и уменьшается хрупкость материала за счет армирования композита древесными фрагментами и уменьшения концентрации песка, вызывающего хрупкость. Однако дальнейшее увеличение концентрации древесины (от 55 до 100 %) не целесообразно, так как уменьшается содержание полимера, и его становится недостаточно, чтобы надежно окружить древесные



а б

Рис. 3. Зависимость механических характеристик древесного композиционного материала от концентрации древесины: а – зависимость предела прочности $\sigma_п$; б – зависимость предельной относительной деформации $\varepsilon_п$

фрагменты и обеспечить прочную связь между ними. При этом материал также становится хрупким и приближается по свойствам к слабо склеенным и слежавшимся опилкам. Кроме того, снижение предела прочности $\sigma_п$ происходит из-за уменьшения содержания песка, придающего прочность материалу. Таким образом, в качестве оптимального можно рассматривать состав 50 % древесины + 33 % полимера + 17 % песка.

На рис. 3 показана зависимость предела прочности (а) и предельной относительной деформации (б) при испытании на изгиб древесного композиционного материала от концентрации древесины. Необходимо отметить, что данная модификация модели адекватна при концентрациях древесины до 80…85 %, а при больших концентрациях воспроизводит не отдельные слабо связанные между собой фрагменты древесины, а протяженные связанные участки древесины.

В случае $c_Д = 100\,\%$ воспроизводится цельный образец древесины с изотропными свойствами. Поэтому для концентрации древесины более 80…85 % необходима была бы доработка модели.

Выводы

Таким образом, на основе математической модели структуры древесного композиционного материала изучено влияние концентрации древесины в составе на прочностные свойства. Оптимальным составом древесного композиционного материала, при котором достигаются приемлемые предел прочности и предельная деформация, является состав 45…50 об. % древесины, 30…35 об. % полимера, 17…22 об. % песка.

Увеличение роста эффективности производства изделий из древесных композиционных материалов может быть достигнуто за счет замены деревянных и железобетонных изделий [6], и это будет способствовать сохранению строевого леса, использованию отходов лесного комплекса и отходов промышленности, оздоровлению экологической обстановки и созданию новых рабочих мест.

Список литературы

1. Гулд Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник. – Ч. 2. – М.: Мир, 1990. – 400 с.

2. Кривцов А.М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.

3. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – 3-е изд., испр. – М.: КомКнига, 2007. – 192 с.

4. Стородубцева Т.Н. Формирование механических характеристик и макроструктуры композита в зависимости от синергетических эффектов взаимодействия его компонентов // Лесотехнический журнал. – Воронеж, 2013. – № 4(12). – С. 134–138.

5. Стородубцева Т.Н. Исследование влияния свойств древесного заполнителя на трещиностойкость композиционного материала / Т.Н. Стородубцева, А.А. Аксомитный // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 3 (15). – С. 213–220.

6. Стородубцева Т.Н. Водостойкий композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал / Т.Н. Стородубцева, В.И. Харчевников // Изв. вузов. Строит. – 2002. – № 12. – С. 74–78.

References

1. Guld H. Kompjuternoe modelirovanie v fizike / H. Guld, Ja. Tobochnik. Ch. 2. M.: Mir, 1990. 400 p.

2. Krivcov A.M. Deformirovanie i razrushenie tel s mikrostrukturoj. M.: FIZMATLIT, 2007. 304 p.

3. Myshkis A.D. Jelementy teorii matematicheskih modelej. 3-e izd., ispr. M.: KomKni-ga, 2007. 192 p.

4. Storodubceva T.N. Formirovanie mehanicheskih harakteristik i makrostruktury kompo-zita v zavisimosti ot sinergeticheskih jeffektov vzaimodejstvija ego komponentov // Lesotehnicheskij zhurnal. Voronezh, 2013. no. 4(12). pp. 134–138.

5. Storodubceva T.N. Issledovanie vlijanija svojstv drevesnogo zapolnitelja na treshhino-stojkost kompozicionnogo materiala / T.N. Storodubceva, A.A. Aksomitnyj // Lesotehnicheskij zhurnal. 2014. T. 4, no. 3 (15). pp. 213–220.

6. Storodubceva T.N. Vodostojkij kompozicionnyj material na osnove othodov lesnogo kompleksa dlja zheleznodorozhnyh shpal / T.N. Storodubceva, V.I. Harchevnikov // Izv. vuzov. Stroit. 2002. no. 12. pp. 74–78.

Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», г. Воронеж;

Кондрашова Е.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», г. Воронеж.

УДК 616.323-007.61-002.2-053.2:575.113:574.2

АКЦЕНТУАЦИЯ ПАРАДИГМЫ «ГЕН – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА» НА ПРИМЕРЕ ХРОНИЧЕСКОГО АДЕНОИДИТА У ДЕТЕЙ

[1]Терскова Н.В., [1]Вахрушев С.Г., [1]Шнайдер Н.А., [2]Симбирцев А.С., [1]Сидоренко Д.Р.

[1]ГБОУ ВПО «Красноярский государственный медицинский университет имени В.Ф. Войно-Ясенецкого», Красноярск, e-mail: terskovanatasha@mail.ru;
[2]ФГБУ «Государственный научно-исследовательский институт особо чистых биопрепаратов» Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, e-mail: simbirtsev@hpb-spb.com

В статье продемонстрирован пример подтверждения совокупности фундаментальных научных представлений о влиянии факторов окружающей среды на реализацию генотипа в виде манифестации мультифакториального заболевания. Статья знакомит с результатами эпидемиолого-молекулярно-генетического исследования на примере стратифицированной кластерной выборки 47 больных детей с хроническим аденоидитом и здоровых детей. В качестве экзогенных факторов окружающей среды рассмотрено загрязнение атмосферного воздуха по количественному интегральному показателю – индексу загрязнения атмосферы. Показано селективное преимущество гетерозиготного генотипа *C/T* по мутантному аллелю *T** гена интерлейкина-1β, как приспособление к гетерогенности среды, при проживании ребёнка с рождения в неблагоприятном по уровню загрязнения атмосферного воздуха районе. При этом частота детей, имеющих предикторный мутантный аллель T* гена интерлейкина-4 в полиморфном локусе 589, была в 2,58 раза больше в этой группе, что объясняло манифестацию хронического аденоидита провоцирующими неблагополучными факторами окружающей среды.

Ключевые слова: хронический аденоидит, загрязнение атмосферного воздуха, полиморфизм гена интерлейкина-1β, полиморфизм гена интерлейкина-4

ACCENTUATION PARADIGM «GENE-ENVIRONMENT» ON THE EXAMPLE OF CHRONIC ADENOIDITIS IN CHILDREN

[1]Terskova N.V., [1]Vakhrushev S.G., [1]Shnayder N.A., [2]Simbirtsev A.S., [1]Sidorenko D.R.

[1]State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Krasnoyarsk State Medical University named after Prof. V.F. Voino-Yasenetsky», Krasnoyarsk, e-mail: terskovanatasha@mail.ru;
[2]Federal State Budgetary Institution State research Institute of highly pure biopreparations, Federal medico-biological Agency, Saint-Petersburg, e-mail: simbirtsev@hpb-spb.com

The article demonstrates an example of a confirmation of set of fundamental scientific ideas about the influence of environmental factors on the realization of the genotype in the form of the manifestation of multifactorial disease. The article presents the results of epidemiology – molecular and genetic research on the example stratified cluster sampling of 47 patients with a chronic adenoiditis and healthy children. As the exogenous factors of the environment is considered air pollution on integral quantitative index – an index of air pollution. Displaying a selective advantage heterozygous genotype *C/T* for the mutant allele *T** of interleukin-1β gene as the adaptation to heterogeneous environments while residence of the child from birth in an unfavorable by the level of air pollution region. The frequency of children having predictor mutant allele *T** of interleukin-4 gene in the polymorphic locus 589 was 2,58 times more in this group, which explain the manifestation of chronic adenoiditis disadvantaged provoking environmental factors.

Keywords: the chronic adenoiditis, air pollution, polymorphism of interleukin-1β gene, polymorphism of interleukin-4 gene

В прогнозировании характера течения патологического процесса и развития осложнений, а также выбора терапии перспективным подходом является комплексный анализ факторов риска, имеющих различную природу [2].

При мультифакториальных заболеваниях (МФЗ) фенотипические признаки моделируются определённым генотипом подверженности заболеванию и воздействием факторов среды. Однако по мере увеличения возраста степень наследственной преформированности показателей уменьшается и увеличивается влияние факторов окружающей среды [6, 8]. Доказательством важности средовой компоненты является рост частоты многих МФЗ в популяциях, который невозможно объяснить изменением генетической составляющей за короткий промежуток времени с точки зрения эволюции [5, 7].

Распространённость хронического аденоидита (ХА) у детей, который относится к МФЗ, является биоиндикационным интегральным показателем качества окружающей среды. Утверждение обусловлено высоким уровнем корреляции по функциональным показателям системы внешнего дыхания. Многими авторами подтверждена

высокая распространённость ХА у детей промышленных регионов [1, 3, 4]. В то же время описаны полиморфизмы генов цитокинов, предопределяющие манифестацию и неблагоприятное течение хронического воспалительного процесса в глоточной миндалине.

Многогранность взаимодействий «ген – окружающая среда» при ХА акцентируется различиями в уязвимости к неблагополучным экологическим факторам окружающей среды, определяющимися генетическими полиморфизмами. Продемонстрированный сравнительно низкий, но доказательный вклад генетической компоненты в развитие ХА, имея аддитивность с неблагоприятными факторами окружающей среды, может формировать синергетический эффект взаимодействия, значимо повышая риск развития ХА до среднего уровня, что является клинически значимым.

Цель – исследование ассоциаций генотипов и аллелей генов интерлейкина-1β (*IL-1β*), интерлейкина-4 (*IL-4*) в зависимости от района проживания ребёнка с рождения.

Материалы и методы исследования

При разделении административных районов г. Красноярска по критерию «уровень загрязнения атмосферного воздуха» как отображения качества окружающей среды нами использовался показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). ИЗА-5 стандартизировано включал пять приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха: бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота и аммиак. Нормативный показатель ИЗА-5 составлял менее 5 усл. ед. Методом сплошной выборки были проанализированы учётные формы за 2009–2011 гг. контроля атмосферного воздуха, предоставленные Территориальным центром по мониторингу загрязнения окружающей среды Среднесибирского межрегионального территориального управления Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Учётные формы сформировали 7 карт эпидемиологического обследования в соответствии с 7 административными районами г. Красноярска.

Проведён анализ исходного состояния проблемы распространённости ХА в двух крайне противоположных по уровню ИЗА-5 районах: с относительно низким уровнем загрязнения атмосферного воздуха или благополучном по состоянию атмосферного воздуха (ИЗА = 17,97 усл. ед.) и с экстремально высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха или неблагополучном по состоянию атмосферного воздуха (ИЗА = 27,82 усл. ед. и более). Не было отмечено районов с нормативным значением ИЗА-5.

В ходе исследования в группах больных детей при оценке соматического здоровья были скоррелированы медико-социальные факторы, способные влиять на результат.

Для выполнения задачи была сформирована кластерная выборка 72/388 (18,6 ± 2,0)% детей-пробандов с ХА и 26/95 (27,4 ± 4,6)% здоровых детей, проживающих в разных по уровню загрязнения атмосферы районах города, обусловивших условное подразделение районов на благополучный и неблагополучный. Из данной группы детей-пробандов с ХА были приняты во внимание только те, которые имели сведения о молекулярно-генетическом типировании. Гендерное распределение и распределение по возрасту в группах было сопоставимым.

Молекулярно-генетический метод включал 2 маркёра дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) с заменой цитозина (*C*) на тимин (*T*) в полиморфных локусах двух генов: *IL-1β* (*3954C → T*), *IL-4* (*589C → T*). Для выделения ДНК из лейкоцитов периферической крови применяли комплекты реагентов из набора «ДНК-сорб-В», изготовленным ФГУН ЦНИИЭ Роспотребнадзора (г. Москва, Россия). Генотипирование проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени с последующей амплификацией с использованием меченых флуоресцентными агентами олигонуклеотидных проб, комплементарных участку ПЦР-продукта (технология *TaqMan*) ДНК образца крови больного ребёнка с использованием методов автоматической детекции. Амплификация была выполнена в 50 μл объёме, содержащем 300 нг ДНК, 0,1 μл праймера, содержащего 16–25 пар нуклеотидов (*Applied Biosystem part of Life Technologies,* США). Используемые структурные дизайны праймеров для описания характеристик генов представлены согласно данным *National Center for Biotechnology Information* по референсу ОНП (*rs – reference SNP*, англ.) в соответствии с протоколом, прилагаемым к праймеру:

1) для гена *IL-1β* (*IL-1β + 3954C/T*, *rs*1143634) –

CTCCACCTTTCAGAACCTATCTTCTT [C/T]
GACACATGGGATAACGAGGCTTATG

2) для гена *IL-4* (*IL-4-589C/T*, *rs*2243250) –

AACACCTAAACTTGGGAGAACATTGT [C/T]
CCCCAGTGCTGGGGTAGGAGAGTCT.

ПЦР проводили в амплификаторе *Rotor-Gene* 6000 (*CorbetLifeScience*, Австралия).

Статистическая обработка полученных данных выполнялась при помощи:

1) компьютерной программы «SPSS v. 22.0 for Windows»;

2) методов статистической генетики – с расчётом критерия отношения шансов (*OR – odds ratio*, англ.) и доверительного интервала (ДИ) при 95% уровне значимости.

При нормальном распределении показателей использована описательная статистика: среднее арифметическое значение (*M*), стандартная ошибка среднего (*m*), стандартное отклонение (d). При отсутствии нормального распределения – представлены медианы (Me), 25 и 75 квартили (Q_{25} и Q_{75}). При сравнении непараметрических показателей использовался критерий Вилкоксона, Мак-Нимара. Для определения значимости различий при множественном сравнении применяли критерий Крускала – Уоллиса, для попарного сравнения – критерий Манна – Уитни. Для определения статистической значимости отличий между качественными признаками применяли критерий хи-квадрат (χ^2). В случае если при вычислении критерия χ^2 среди ожидаемых чисел оказывались значения меньше пяти, – для определения достоверности различий использовался точный критерий Фишера. При сравнении нескольких групп применялся

дисперсионный анализ с вычислением критерия Тьюки. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Определены ассоциации генотипов и аллелей генов цитокинов в зависимости от района проживания с рождения у 29/72 (40,3 ± 5,8)% детей-пробандов с ХА и 18/26 (69,2 ± 9,1)% здоровых детей. Медиана возраста детей-пробандов с ХА составила 5,77 лет [4,06; 7,87]. Медиана возраста здоровых детей составила 6,26 лет [4,05; 7,72] ($p > 0,05$).

Из всех детей-пробандов с ХА: 12/29 (41,4 ± 9,1)% проживали в благополучном районе по уровню загрязнения атмосферы, а 17/29 (58,6 ± 9,1)% – в неблагополучном районе. Из всех здоровых детей: 7/18 (38,9 ± 11,5)% проживали в благополучном районе по уровню загрязнения атмосферы, а 11/18 (61,1 ± 11,50)% – в неблагополучном районе.

Во всех группах выявлено преобладание «дикого» аллеля *C** и гомозиготного генотипа по данному аллелю C/C гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954, являющегося предикторным для изучаемого заболевания, поэтому шансы заболеть ХА были сопоставимыми. Показатель асимптоматической значимости по критерию χ^2 Пирсона между больными и здоровыми детьми, проживающими в благополучном районе, составил 0,156. Показатель асимптоматической значимости по критерию χ^2 Пирсона между больными и здоровыми детьми, проживающими в неблагополучном районе, составил 0,681 (табл. 1).

Возможный мутационный груз, вносимый мутантным аллелем T* гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954, был выше в группе детей, проживающих в неблагополучном по состоянию атмосферного воздуха районе. Было констатировано статистически значимое уменьшение мутационного груза у детей-пробандов с ХА, проживающих в благополучном районе с рождения.

Интерес представлял гетерозиготный генотип по мутантному аллелю C/T гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954, который мог отражать влияние гетерогенности внешних условий. Гипотеза состояла в том, что в популяционной системе генотипы, эволюционно адаптированные к одним условиям, при смене окружающих условий обладали меньшей устойчивостью, предрасполагая к заболеванию, в частности ХА. В указанном аспекте селективное преимущество имели гетерозиготные генотипы.

Однако дети-пробанды с ХА, проживающие в благополучном районе, за счёт меньшего мутационного груза имели меньший в 3,5 раза процент гетерозиготного генотипа по сравнению с детьми-пробандами с ХА, проживающими в неблагополучном районе. Следовательно, данная группа с одной стороны, обладала большей уязвимостью в случае смены факторов окружающей среды, с другой стороны, негативно селекционировала пул гомозиготного генотипа по «дикому» аллелю C* гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954. Несмотря на лидирование гетерозиготного генотипа по мутантному аллелю гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954 в группе детей-пробандов с ХА, проживающих в неблагополучном районе, который должен был обеспечивать

Таблица 1

Ассоциации аллелей и генотипов гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954 с предрасположенностью к хроническому аденоидиту в исследованных группах детей, проживающих в разных по уровню загрязнения атмосферы районах

Ген цитокина, полиморфизм	Генотипы	Распределение частот генотипов *n* (% ± m)			
		Подгруппа детей с ХА *n* = 29		Подгруппа здоровых детей *n* = 18	
		Благополучный район *n* = 12	Неблагополучный район *n* = 17	Благополучный район *n* = 7	Неблагополучный район *n* = 11
*IL-1*β	*C/C*	10 (83,3 ± 10,8)	8 (47,1 ± 12,1)[1]	3 (42,9 ± 18,7)	7 (63,6 ± 14,5)
	C/T	1 (8,3 ± 8,0)	5 (29,4 ± 11,1)[1]	3 (42,9 ± 18,7)	2 (18,2 ± 11,60)
	T/T	1 (8,3 ± 8,0)	4 (23,5 ± 10,3)	1 (14,3 ± 13,2)	2 (18,2 ± 11,6)
	*C**	21 (87,5 ± 6,8)	21 (61,8 ± 8,3)[1]	9 (64,3 ± 12,8)	16 (72,7 ± 9,5)
	*T**	3 (12,5 ± 6,8)	13 (38,2 ± 8,3)[1]	5 (35,7 ± 12,8)	6 (27,3 ± 9,5)

Примечание. [1] – статистическая значимость различий при сравнении подгрупп детей с ХА, проживающих в разных районах, при $p < 0,05$.

селективное преимущество, манифестация заболевания реализовалась. Допустимое объяснение касалось исключительно существования и роли дополнительного фактора помимо генетической детерминируемости, который мог влиять на манифестацию заболевания, что не противоречило влиянию сверхвысокого уровня загрязнения атмосферы в неблагополучном районе.

При сравнении частоты генотипов и аллелей гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954 у здоровых детей, проживающих в разных районах по уровню загрязнения атмосферы, необходимо подчеркнуть, что состояние здоровья обеспечивалось, прежде всего, паритетным селективным преимуществом гетерозиготного генотипа гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954, чем влиянием факторов окружающей среды.

При расчёте показателя отношения шансов были получены значения, указывающие на существенную негативную прогностическую статистическую значимость гомозиготных генотипов по «дикому» и мутантному аллелям C/C и T/T соответственно гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954 в общей выборке детей, проживающих в неблагополучном районе. Напротив, при расчёте показателя отношения шансов были получены значения, указывающие на существенную положительную прогностическую статистическую значимость гомозиготного генотипа по «дикому» аллелю C/C гена *IL-1β* в полиморфном локусе 3954 в общей выборке детей, проживающих в благополучном районе (табл. 2).

Полученные результаты не противоречили ранее сделанным выводам о невыгодности гомозиготных генотипов при гетерогенности внешних условий.

Анализ распределения генотипов и аллелей гена *IL-4* в полиморфном локусе 589 выявил статистически значимые различия в группе детей-пробандов с ХА по сравнению со здоровыми детьми, проживающими в неблагополучном районе ($p < 0,05$) (табл. 3).

В трёх группах, кроме группы здоровых детей, проживающих в благополучном районе, выявлено преобладание аллеля «дикого» типа *C** и гомозиготного генотипа по данному аллелю C/C гена *IL-4* в полиморфном локусе 589, являющимися протективными для изучаемого заболевания, поэтому шансы быть здоровыми были сопоставимыми. Несмотря на меньшую частоту гомозиготного генотипа по «дикому» аллелю C/C гена *IL-4* в полиморфном локусе 589 в группе здоровых детей, проживающих в благополучном районе, манифестации ХА не происходило в силу отсутствия триггерных факторов окружающей среды. В то же время при превалирующей частоте предикторного мутантного аллеля T* и гомозиготного генотипа по мутантному аллелю T/T гена *IL-4* в полиморфном локусе 589

Таблица 2

Влияние района проживания на риск развития хронического аденоидита у детей

Соотношение генотипов, аллелей гена *IL-1β 3954*	Отношения шансов, OR [95 % ДИ] ($p \leq 0,05$)	
	Благополучный район	Неблагополучный район
C/C / C/T + T/T	0,15 [95 % ДИ: 0,02–1,27]	1,97 [95 % ДИ: 0,42–9,32]
T/T / C/C + C/T	1,83 [95 % ДИ: 0,10–34,48]	1,39 [95 % ДИ: 0,21–9,24]

Таблица 3

Ассоциации аллелей и генотипов гена *IL-4* в полиморфном локусе 589 с предрасположенностью к хроническому аденоидиту у исследованных групп детей, проживающих в разных по уровню загрязнения атмосферы районах

Ген цитокина, полиморфизм	Генотипы	Распределение частот генотипов *n* (% ± m)			
		Подгруппа детей с ХА *n* = 29		Подгруппа здоровых детей *n* = 18	
		Благополучный район *n* = 12	Неблагополучный район *n* = 17	Благополучный район *n* = 7	Неблагополучный район *n* = 11
IL-4	*C/C*	7 (58,3 ± 14,2)	9 (52,9 ± 12,1)[1]	3 (42,9 ± 18,7)	10 (90,9 ± 8,7)[1]
	C/T	2 (16,7 ± 10,8)	7 (41,2 ± 11,9)[1]	3 (42,9 ± 18,7)	1 (9,1 ± 8,7)[1]
	T/T	3 (25,0 ± 12,5)	1 (5,9 ± 5,7)	1 (14,3 ± 13,2)	0 (0,0 ± 0,0)
	*C**	16 (66,7 ± 9,6)	25 (73,5 ± 7,6)[1]	9 (64,3 ± 12,8)	21 (95,5 ± 8,7)[1]
	*T**	8 (33,3 ± 9,6)	9 (26,5 ± 7,6)[1]	5 (35,7 ± 12,8)	1 (4,5 ± 8,7)[1]

Примечание. [1] – статистическая значимость различий при сравнении подгрупп детей с ХА и здоровых детей одного района при $p < 0,05$.

Таблица 4

Влияние района проживания на риск развития хронического аденоидита у детей

Соотношение генотипов, аллелей гена *IL-4 589*	Отношения шансов, OR [95 % ДИ] ($p < 0,05$)	
	Благополучный район	Неблагополучный район
C/C / C/T + T/T	0,54 [95 % ДИ: 0,08–3,53]	8,89 [95 % ДИ: 0,92–85,66]
T/T / C/C + C/T	0,50 [95 % ДИ: 0,04–6,02]	1,69 [95 % ДИ: 1,23–2,31]

в группе здоровых детей, проживающих в благополучном районе, манифестации ХА также не происходило по вышеуказанной причине. Напротив, преобладание аллеля «дикого» типа *C** гена *IL-4* в полиморфном локусе 589, являющемся протективным для изучаемого заболевания, обеспечивало статус здоровья у детей при проживании в неблагополучном районе, представляя, по сути, доверительный интервал по частоте – (95,5 ± 8,7)%.

Частота гомозиготного генотипа по «дикому» аллелю C/C гена *IL-4* в полиморфном локусе 589 была меньше у детей-пробандов с ХА, проживающих в неблагополучном районе, чем у здоровых детей аналогичного района, и составила (52,9 ± 12,1)% против (90,9 ± 8,7)% ($p < 0,05$). При этом частота детей, имеющих предикторный мутантный аллель T*, была больше, что объясняло манифестацию ХА провоцирующими неблагополучными факторами окружающей среды.

При расчёте показателя отношения шансов были получены значения, указывающие на существенную прогностическую значимость как аллеля *C**, так и аллеля *T** гена *IL-4* в полиморфном локусе 589 в отношении риска развития ХА при проживании в неблагополучном районе ($p = 0,036$) (табл. 4).

Выводы

В целом вероятность развития ХА определялась преимущественно генетической детерминируемостью. При этом значимым являлось гетерозиготное носительство как гена *IL-1*β, так и гена *IL-4* в изученных локусах как приспособленность в гетерогенных внешних условиях среды. Экзогенный фактор окружающей среды – неблагополучное состояние атмосферного воздуха – способствовал уязвимости ребёнка-пробанда, имеющего определённый профиль гена, с манифестацией ХА, что с полной уверенностью позволяет считать их триггерными в манифестации генетической предрасположенности к ХА у детей.

Список литературы

1. Бутаев Т. М. Гигиеническая оценка окружающей среды и состояния здоровья детского населения Республики Северная Осетия-Алания / Т.М. Бутаев, С.К. Цгоева, М.Д. Калоева // Среда обитания и здоровье детского населения : сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2003. – С. 49–51.

2. Дмитриев Д. А. Влияние генетических и средовых факторов на состояние системы внешнего дыхания / Д.А. Дмитриев, А.Д. Дмитриев, И.В. Сорокина // Гигиена и санитария. – 2006. – № 1. – С. 79–81.

3. Ляпин В.А. Современные тенденции формирования здоровья детского населения промышленного города / В.А. Ляпин, Н.В. Дедюлина // Здоровье населения и среда обитания. – 2005. – № 1. – С. 11–15.

4. Сливина Л.П. Антропогенная нагрузка как фактор риска формирования хронической аденотонзиллярной патологии у дошкольников / Л.П. Сливина, И.А. Молодцова // Современные проблемы охраны здоровья детей в дошкольных образовательных учреждениях: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Москва, 1–2 ноября 2011). – М., 2011. – С. 197–200.

5. Beasley R. Worldwide variation in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjuctivitis and atopic eczema // Lancet. – 1998. – Vol. 351. – P. 1225–1232.

6. Genetic and environmental influences on pulmonary function in aging Swedish twins / G.E. McClearn, M. Svartengren, N. Pedersen [et al.] // J. Gerontol. – 1994. – Vol. 49, № 6. – P. 264–268.

7. Jarvis D. Epidemiology of atopy and atopic diseases / D. Jarvis, P. Burney // Allergy and allergic diseases / ed. B. Kay. – Oxford : Blackwell Science, 1997. – P. 1208–1224.

8. Pattern of genetic influence on pulmonary function / Y. Kawakami, A. Shida, H. Yamamoto [et al.] // Chest. – 1985. – Vol. 87, № 4. – P. 507–511.

References

1. Butaev T.M., Tsgoeva S.K., Kaloeva M.D. Sb. nauch. tr. *Vseros. nauch.-prakt. konf.: Sreda obitaniya i zdorove detskogo naseleniya*, Orenburg, 2003, pp. 49–51.

2. Dmitriev D.A., Dmitriev A.D., Sorokina I.V. *Gigiena i sanitariya,* 2006, no 1, pp. 79–81.

3. Lyapin V.A., Dedyulina N.V. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya,* 2005, no 1, pp. 11–15.

4. Slivina L.P., Molodtsova I.A. *Materialy Vseros. Nauch.-Prakt. Konf. s Mezhdunar. Uchastiem: Sovremennye problemy okhrany zdorov'ya detey v doshkol'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh*, Moskva, 1-2 noyabrya 2011, pp. 197–200.

5. Beasley R. *Lancet,* 1998, vol. 351, pp. 1225–1232.

6. McClearn G.E., Svartengren M., Pedersen N.E., Heller D.A., Plomin R. *J. Gerontol.*, 1994, vol. 49, no 6, pp. 264–268.

7. Jarvis D., Burney P. *Allergy and allergic diseases* / *ed. A. B. Kay,* Oxford : Blackwell Science, 1997, pp. 1208–1224.

8. Kawakami Y., Shida A., Yamamoto H., Yoshikawa T. *Chest,* 1985, vol. 87, no. 4, pp. 507–511.

Рецензенты:

Галактионова М.Ю., д.м.н., доцент, заведующая кафедрой поликлинической педиатрии и пропедевтики детских болезней с курсом последипломного образования, ГБОУ ВПО «Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Красноярск;

Игнатова И.А., д.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии и аллергологии, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера» СО РАМН, руководитель научно-практической лаборатории «Инновационные методы обследования и коррекции сенсорных систем человека», профессор кафедры специальной психологии, ФГБОУ ВПО «КГПУ им. В.П. Астафьева», профессор кафедры ЛОР-болезней с курсом ПО, ГБОУ ВПО «КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого», г. Красноярск.

УДК 378.147

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ РОЛЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Адухова А.Х.

Дагестанский государственный институт народного хозяйства, Махачкала, e-mail: mif212@mail.ru

Взаимосвязь высшего образования и социально-экономического развития длительное время не являлась приоритетом глобальной политики финансирования научных исследований, в то время как необходимость теоретического анализа этого феномена становилась все очевиднее. Влияние образования на экономический рост не представляется однородным в разных исследованиях, так как варьирует в зависимости от многих факторов. В частности, дифференциация объясняется различиями в методах оценки уровня образования и характеристик исследований, моделью спецификации, а также типами данных, используемых, и качество научных точек зрения. В этой статье предпринята попытка исследования взаимосвязи высшего образования и экономического развития на основе эволюционной экономики и национальной инновационной системы. Такой подход позволяет оценить роль высшего образования в развитии посредством формирования условий для адсорбции инноваций в целях обеспечения экономического роста. Среди всех уровней образования высшее образование оказывает значимое влияние на социально-экономическое развитие. Результаты исследования обосновывают необходимость увеличения инвестиций в систему высшего образования, способствуя тем самым, ускорению экономического роста, что в свою очередь по цепочке приводит к дальнейшему повышению уровня образования и, следовательно, экономическому развитию.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, экономический рост, высшее образование

CONCEPTUAL ROLE OF HIGHER EDUCATION IN THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT: THEORETICAL ASPECTS

Adukhova A.K.

Dagestan State Institute of National Economy, Makhachkala, e-mail: mif212@mail.ru

The relationship of higher education and socio-economic development for a long time is not a priority global policy research funding. While the need for a theoretical analysis of this phenomenon is becoming increasingly clear. Effect on growth formation is not uniform in the various studies have been varied depending on many factors. In particular, the differentiation is explained by differences in the methods of assessing the level of education and research performance, model specifications, as well as the types of data used, and the quality of the scientific point of view. This article attempts to study the relationship of higher education and economic development based on evolutionary economics and the national innovation system. This approach allows us to evaluate the role of higher education in development through the formation of conditions for the adsorption of innovation for economic growth. Among all levels of education Higher education has a significant impact on the socio-economic development. The findings justify the need to increase investment in higher education, contributing thus accelerate economic rohundred, which, in turn, the chain leads to a further increase in the level of education and, consequently, economic development.

Keywords: socio-economic development, economic growth, higher education

Характерной особенностью современного тренда развития мировой экономики является активизация и перестраивание исследовательской деятельности проблем в сфере высшего образования и экономического развития. При этом следует отметить относительный недостаток теоретических работ, рассматривающих взаимосвязь высшего образования и роста экономики M. Oketch [20].

В то же время наличествуют исследования, указывающие на корреляцию между высшим образованием и инновациями [2; 6–12; 23]. Кроме того, встречаются работы, в которых приводятся встречные аргументы, демонстрирующие ограниченное взаимодействие между ключевыми переменными развития высшего образования, экономического роста, производительности и технологических изменений [24]. Новизной данной статьи следует считать предлагаемый альтернативный подход к вопросу благоприятного влияния высшего образования на социально-экономическое развитие страны, региона. Такой альтернативный подход может быть разработан на основе принципов и традиций эволюционной экономики [17; 19; 25; 26; 27]. При этом акцентируется внимание на теориях среднего уровня технологических возможностей [14; 15], отраслевых систем инноваций [18] и интерактивных возможностях [3; 4; 5].

Теоретико-методологические основы исследования

Новое направление в понимании значения образования в экономическом росте формируют альтернативные подходы, подчеркивающие роль инноваций в экономическом развитии, подкрепленные эволюционной экономикой [16; 26]. Так R. Nelson и S. Winter [19] впервые аргументировали значимость продуктивных преобразований в экономическом развитии. В отличие от линейных моделей технологического развития, позиция отмеченных выше исследователей сводится к тому, что инновации являются не линейным и не последовательным процессом. Кроме того, опираясь на традиции институциональной экономики, они подчеркивают, что технические изменения и рост зависят как от социальных, так и технических инноваций. То есть это требует нескольких процессов, протекающих одновременно в производстве, что в свою очередь требует не только исследования и развития потенциала, но разнообразия навыков на всех уровнях фирмы, и процессы и системы для того, чтобы обеспечить эффективную диффузию и принятие технологии [13; 16; 26].

Наиболее полно в теории экономического развития указанный подход был рассмотрен в работах S. Lall [14], подчеркнувшего, что новые технологии не могут быть импортированы без инновационных инвестиций в формирование технологических возможностей для их адсорбции [15]. Отмеченный подход S. Lall предполагает не только значимость обучения, требует формирования организационных условий, но и подчеркивает понимание важности технологических возможностей в развитии государства. В рамках данного подхода исследование фокусируется на связи между субъектами: наукой и технологиями, университетами, научно-исследовательскими организациями, имеющими решающее значение для формирования технологического потенциала.

В этой связи следует отметить, что Salazar-Xirinachs и др. [23;25, p. 2] утверждают, что производственные возможности определяют реалистичные варианты диверсификации экономики, т.е. ядром развития является поддержка процессов обучения в разработке технологических возможностей на всех уровнях [25].

Рассматривая вопрос о влиянии национальных инновационных систем [16], а также отраслевых инновационных систем (SSIS) на экономическое развитие, следует отметить их акцент на экономических секторах, как потенциальных ключевых агентах экономического развития. Большое значение для понимания теоретических основ взаимодействия образования, профессиональных знаний и социально-экономического развития имеет категориальный аппарат, используемый в исследовании. К примеру, F. Malerba [18] определяет SSIS как набор разнородных агентов проведения рыночных и нерыночных взаимодействий для генерации, принятия и использования новых или традиционных технологий для создания, производства и использования производств, относящихся к определённому сектору экономики. В SSIS предполагается, что фирмы под влиянием институциональной среды осуществляют поиск соответствующего сектора знаний, чтобы реализовать их взаимодействие с подобными технологиями аналогичными производственной деятельности [18]. Вместе с тем фирмы будут также зависеть от их предыдущего опыта обучения, компетенции, организационных процедур и культуры среды, условий и возможностей развития. Таким образом, уровень знаний и доступность соответствующих технологий могут служить основой для ограничения инноваций и профессионального обучения. Точно так же характер отраслевых сетей может ограничивать или способствовать приобретению знаний и адаптивных технологий. Следовательно, в центр рассматриваемого подхода ставится динамика, процесс и преобразование [18, p. 64].

Исследования N. Von Tunzelmann [3] и N. Von Tunzelmann и Q. Wang [4] дополняют третий компонент концептуального инструментария исследования. N. Von Tunzelmann подчеркивает различия между компетенциями, интерактивными возможностями и динамическими интерактивными возможностями. Тем самым в работе N. Von Tunzelmann акцентируется внимание на значимости специфических наборов возможностей, необходимых для эффективного стратегического взаимодействия.

В данном контексте следует отметить, что стратегическим атрибутом «компетенций», необходимых для производства товаров и услуг, являются образование и профессиональная подготовка [5], которые реализуются в двух ключевых формах:

1) знаниях, воплощенных в человеческих ресурсах организации и организационных процедурах;

2) кодифицированных знаниях, присутствующих в организационных структурах, технологиях, формальной политике или других физических ресурсах.

Однако наличие специалистов с высшим образованием само по себе не гарантирует эффективную адсорбцию новых

технологий. Для этого требуется наличие «интерактивных возможностей» – определенной способности к обучению и накоплению новых знаний по части организации и интеграции поведенческих, социальных и экономических факторов [5]. Изменения обстоятельств и окружающей среды также часто приводят к изменениям «динамических интерактивных возможностей». Так, P. Pavlou и O.El. Sawy [21] выделяют следующие четыре динамические возможности: зондирование, обучение, интеграцию и координацию (рисунок).

чае главной с точки зрения успеха является зависимость от уровня потенциала эффективного управления и лидерства.

На рисунке представлен схематический вид концепции взаимодействия структурных компонент механизма усиления потенциала высших учебных заведений в системе социально-экономического развития.

Выводы и заключение

Примечательно, что представленный анализ подчеркивает важность связи между образованием и экономическим развитием.

Механизм усиления взаимосвязи компонент высшего образования

В целом способность организации эффективно реагировать на изменения в институциональной и бизнес-среде и зависит от надлежащего использования своих полномочий через организационные процессы или процедуры. Таким образом, руководство должно определить компетенции и возможности на ответные реакции на изменения окружающей обстановки через свои организационные процедуры.

При этом новые знания и умения должны быть интегрированы в существующие организационные структуры и процессы. Следует также отметить, что сами организации могут отличаться с точки зрения их интерактивных возможностей. В этом слу-

Такой подход расширяет представление о взаимосвязи между образованием, технологическими инновациями, производством и развитием. Это особенно важно для возрождения исследовательского интереса в области высшего образования и развития. Университеты должны способствовать более глубокому пониманию того, как они могут реагировать на изменяющиеся технологические возможности и потребности фирм, в частности, по отношению к их профессиональным учебно-образовательным программам. При этом более существенный акцент на интерактивных возможностях определяет большую активность университетов в этом процессе.

Список литературы

1. Абдулманапов С.Г. Концептуальные основы и программные мероприятия повышения качества жизни населения в Республике Дагестан / С.Г. Абдулманапов, Х.М. Хаджалова // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2011. – № 3. – С. 73–78.

2. Атаханов Р.А. Опыт американского высшего образования для российских университетов / Р.А. Атаханов, Н.С. Гичиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2012. – № 27. – С. 151–157.

3. Вон Танзелман Н. Возможности выравнивания, смещения и динамичных сетей – Лондон: Имперский колледж Пресс, 2010.

4. Вон Танзелман Н., Ван В. Возможности и теория производства // Структура. Экон. – 2007. – № 18 (2). – С. 192–211.

5. Вон Танзелман Н., Ван В. Эволюционный вид динамических возможностей // Экон. Appl. – 2003. – № 56 (3). – С. 33–64.

6. Гичиев Н.С. Внешние и внутренние факторы экономического роста в субъектах Северо-Кавказского федерального округа // Региональная экономика: теория и практика. – 2012. – № 46. – С. 10–20.

7. Гичиев Н.С. Детерминанты экономического роста: внешняя торговля, иностранные инвестиции, технический прогресс // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2013. – № 4 (38). – С. 94–99.

8. Гичиев Н.С. Каспийский вектор интеграции Шанхайской организации сотрудничества: экзогенные и эндогенные факторы экономического развития Северного Кавказа // Экономика региона. – 2012. – № 4. – С. 249–253.

9. Гичиев Н.С. Международная экономическая интеграция: внешняя торговля и экономический рост в Северо – Кавказском федеральном округе / Н.С. Гичиев. – М.: Перо, 2013. – 272 с.

10. Гичиев Н.С. Российские и зарубежные инвестиции в Северо-Кавказском федеральном округе / Н.С. Гичиев, М.Н. Гичиева // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2013. – № 3 (37). – С. 200–205.

11. Гичиев Н.С. Стратегические направления внешнеэкономической интеграции приграничного региона в условиях глобализации мировой экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2010. – № 4. – С. 89–95.

12. Гичиев Н.С. Теории и факторы экономического роста / Н.С. Гичиев, М.Н. Гичиева // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2012. – № 2. – С. 66–75.

13. Доси Г., Фриман С., Нельсон Р., Силверберг Г., Сейт Л. Характер инновационного процесса. – Лондон: Пинтер, 1988.

14. Лалл С. Технологические возможности и индустриализация // Мир Дев. – 1992. – № 20 (1). – С. 165–186.

15. Лалл С., Крамер-Мбула Е. Африканская промышленность конкурирует? QEH рабочий документ № 122. – Оксфордский университет, 2005.

16. Лундвалл Б. Джонсон Б. Андерсен Е., Далум Б. Национальные системы производства, инноваций и профессиональной квалификации // Политика. – 2002. – № 31.

17. Лундвалл Б. Размышления об интеллектуальном путешествии: от системы инновационной пионерии // Афр. Дж Научн. Технол. Инновации Дев. – 2011. – № 1.

18. Малерба Ф. Отраслевые системы инноваций: основа для связи инноваций в основе знаний, структуры и динамики секторов // Экономика. Инновации. Новые Технологии. – 2005. – № 14. – С. 63–82.

19. Нельсон Р., Зима С. Эволюционная теория экономических изменений. – Кембридж: Гарвардский университет Пресс, 1982.

20. Окетч, М., Мак-Кован, Т., Шенделл. Влияние высшего образования на разработки. Систематический обзор литературы для DFID – Лондон: Институт образования, 2014.

21. Павлу П., Эль Сой О. Понимание неуловимого черного ящика динамических возможностей // Децис. Научн. – 2011. – № 42 (1). – С. 239–273.

22. Павлюченко Е.И Международный опыт повышения качества высшего образования / Е.И. Павлюченко, Н.С. Гичиев, Р.А. Атаханов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 441.

23. Пиллэй, П. Высшее образование и экономическое развитие: обзор литературы – Кейптаун: Центр высшего образования трансформации, 2011.

24. Са Т. Университеты как драйверы городской экономики в Азии: Дело о Вьетнаме. Политика Всемирного банка исследований. Рабочий документ 3949. – Вашингтон, 2006.

25. Салазар-Ксиринакс, Дж, Нюблер И., Козуль-Райт, Р. Промышленная политика, продуктивная трансформация и рабочие места: теория, история и практика. – Женева: Международная организация труда, 2014.

26. Фримен С. Национальная инновационная система в исторической перспективе // Кембридж Дж. Экон. – 1995. – № 19 (1). – С. 5–24.

27. Чанг Х.-Ю. Экономика: Руководство пользователя. – Лондон: Пеликан, 2014.

References

1. Abdulmanapov S.G. Konceptualnye osnovy i programmnye meroprijatija povyshenija kachestva zhizni naselenija v Respublike Dagestan / S.G. Abdulmanapov, H.M. Hadzhalova // Regionalnye problemy preobrazovanija jekonomiki. 2011. no. 3. pp. 73–78.

2. Atahanov R.A. Opyt amerikanskogo vysshego obrazovanija dlja rossijskih universitetov / R.A. Atahanov, N.S. Gichiev // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2012. no. 27. pp. 151–157.

3. Von Tanzelman N. Vozmozhnosti vyravnivanija, smeshhenija i dinamichnyh setej – London: Imperskij kolledzh Press, 2010.

4. Von Tanzelman N., Van V. Vozmozhnosti i teorija proizvodstva. // Struktura. Jekon. 2007. no. 18 (2). pp. 192–211.

5. Von Tanzelman N., Van V. Jevoljucionnyj vid dinamicheskih vozmozhnostej. // Jekon. Appl. 2003. no. 56 (3). pp. 33–64.

6. Gichiev N.S. Vneshnie i vnutrennie faktory jekonomicheskogo rosta v subektah Severo-Kavkazskogo federalnogo okruga // Regionalnaja jekonomika: teorija i praktika. 2012. no. 46. pp. 10–20.

7. Gichiev N.S. Determinanty jekonomicheskogo rosta: vneshnjaja torgovlja, inostrannye investi-cii, tehnicheskij progress // Regionalnye problemy preobrazovanija jekonomiki. 2013. no. 4 (38). pp. 94–99.

8. Gichiev N.S. Kaspijskij vektor integracii Shanhajskoj organizacii sotrudnichestva: jekzogennye i jendogennye faktory jekonomicheskogo razvitija Severnogo Kavkaza // Jekonomika regiona. 2012. no. 4. pp. 249–253.

9. Gichiev N.S. Mezhdunarodnaja jekonomicheskaja integracija: vneshnjaja torgovlja i jekonomicheskij rost v Severo – Kavkazskom federalnom okruge / N.S. Gichiev. – M.: Pero, 2013. 272 p.

10. Gichiev N.S. Rossijskie i zarubezhnye investicii v Severo-Kavkazskom federalnom okruge / N.S. Gichiev, M.N. Gichieva // Regionalnye problemy preobrazovanija jekonomiki. 2013. no. 3 (37). pp. 200–205.

11. Gichiev N.S. Strategicheskie napravlenija vneshnejekonomicheskoj integracii prigranichnogo regiona v uslovijah globalizacii mirovoj jekonomiki // Regionalnye problemy preobrazovanija jekonomiki. 2010. no. 4. pp. 89–95.

12. Gichiev N.S. Teorii i faktory jekonomicheskogo rosta / N.S. Gichiev, M.N. Gichieva // Re-gionalnye problemy preobrazovanija jekonomiki. 2012. no. 2. pp. 66–75.

13. Dosi G., Friman S., Nelson R., Silverberg G., Sejt L. Harakter innovacionnogo processa. – London: Pinter, 1988.

14. Lall S. Tehnologicheskie vozmozhnosti i industrializacija // Mir Dev. 1992. no. 20 (1). pp. 165–186.

15. Lall S., Kramer-Mbula E. Afrikanskaja promyshlennost konkuriruet? QEH rabochij dokument no. 122. Oksfordskij universitet. 2005.

16. Lundvall B. Dzhonson B. Andersen E., Dalum B. Nacionalnye sistemy proizvodstva, inno-vacij i professionalnoj kvalifikacii. // Politika. 2002. no. 31.

17. Lundvall B. Razmyshlenija ob intellektualnom puteshestvii: ot sistemy innovacionnoj pionerii // Afr. Dzh Nauchn. Tehnol. Innovacii Dev. 2011. no. 1.

18. Malerba F. Otraslevye sistemy innovacij: osnova dlja svjazi innovacij v osnove znanij, struktury i dinamiki sektorov // Jekonomika. Innovacii. Novye Tehnologii. 2005. no. 14. pp. 63–82.

19. Nelson R., Zima S. Jevoljucionnaja teorija jekonomicheskih izmenenij. – Kembridzh: Gar-vardskij universitet Press, 1982.

20. Oketch, M., Mak-Kovan, T., Shendell. Vlijanie vysshego obrazovanija na razrabotki. Siste-maticheskij obzor literatury dlja DFID – London: Institut obrazovanija, 2014.

21. Pavlu P., Jel Soj O. Ponimanie neulovimogo chernogo jashhika dinamicheskih vozmozhnostej. // Decis. Nauchn. 2011. no. 42 (1). pp. 239–273.

22. Pavljuchenko E.I Mezhdunarodnyj opyt povyshenija kachestva vysshego obrazovanija / E.I. Pavljuchenko, N.S. Gichiev, R.A. Atahanov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 5. pp. 441.

23. Pilljej, P. Vysshee obrazovanie i jekonomicheskoe razvitie: obzor literatury – Kejptaun: Centr vysshego obrazovanija transformacii, 2011.

24. Sa T. Universitety kak drajvery gorodskoj jekonomiki v Azii: Delo o Vetname. Politika Vsemirnogo banka issledovanij. Rabochij dokument 3949. Vashington. 2006.

25. Salazar-Ksirinaks, Dzh, Njubler I., Kozul-Rajt, R. Promyshlennaja politika, produktivnaja transformacija i rabochie mesta: teorija, istorija i praktika. – Zheneva: Mezhdunarodnaja organi-zacija truda, 2014.

26. Frimen S. Nacionalnaja innovacionnaja sistema v istoricheskoj perspektive // Kembridzh Dzh. Jekon. 1995. no. 19 (1). pp. 5–24.

27. Chang H.-Ju. Jekonomika: Rukovodstvo polzovatelja. – London: Pelikan, 2014.

Рецензенты:

Хаджалова Х.М., д.э.н., профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ДНЦ РАН «Институт социально-экономических исследований», г. Махачкала;

Абдулманапов С.Г., д.э.н., профессор, директор Научно-исследовательского института «Управление экономики, политики и социологии», Дагестанский государственный институт народного хозяйства, г. Махачкала.

УДК 621.43

ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ СПОСОБА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВО КАТАЛИЗАТОРОВ

[1]Васильев И.П., [2,3]Зеляковский Д.В., [2]Титова В.А., [3]Злобин В.Н.

[1]Луганский университет им. В. Даля, Луганск;
[2]ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, e-mail: z.intersvet@yandex.ru;
[3]ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград

Изложены результаты анализа стоимости нейтрализаторов отработавших газов автотранспорта и технологические особенности приготовления катализаторов. Выявлено, что около 50% стоимости нейтрализаторов приходится на каталитический компонент, который содержит катализатор. Одним из путей снижения стоимости катализаторов является использование для нанесения каталитического компонента способа ионной имплантации. Этот способ является высокотехнологичным процессом, при котором свойства поверхности могут изменяться в широких пределах без связи с объемными свойствами образца. Также этот процесс, в противоположность обычному легированию, применим к самым разным материалам (металлам, керамике), при этом расходуется очень малое количество добавки, что значительно снижает стоимость процесса. Это позволяет снизить стоимость катализатора на 60% и нейтрализатора на 25%.

Ключевые слова: катализатор, нейтрализатор, ионная имплантация, стоимость катализатора и нейтрализатора

ECONOMICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF INTRODUCTION OF THE WAY OF IONIC IMPLANTATION FOR PREPARATION OF CATALYSTS

[1]Vasilev I.P., [2,3]Zelyakovskiy D.V., [2]Titova V.A., [3]Zlobin V.N.

[1]Lugansk university of V. Dahl, Lugansk;
[2]FGBOU VPO «The Volgograd state agricultural university», Volgograd, e-mail: z.intersvet@yandex.ru;
[3]FGBOU VPO «The Volgograd state architectural and construction university», Volgograd

Results of the analysis of cost of converters of the fulfilled gases of motor transport and technological features of preparation of catalysts are stated. It is revealed that about 50% of cost of converters are the share of a catalytic component which contains the catalyst. One of ways of depreciation of catalysts is uses for drawing a catalytic component of a way of ionic implantation. This way is hi-tech process at which properties of a surface can change over a wide range without communication with volume properties of a sample. Also this process, contrary to a usual alloying is applicable to the most different materials (metals, ceramics), thus very small quantity of an additive is spent that considerably reduces process cost. It allows to reduce catalyst cost by 60% and converter for 25%.

Keywords: catalyst, converter, ionic implantation, cost of the catalyst and converter

Решение вопросов экологии, в частности снижения вредных выбросов с отработанными газами (ОГ) транспортных средств, это важная задача во многих отраслях хозяйства. Вредные выбросы наносят ущерб не только обслуживающему персоналу, но и приводят к порче продукции, вследствие адсорбции вредных веществ на их поверхности.

Наряду с интенсивной вентиляцией помещений, например на внутрискладском транспорте, используются нейтрализаторы. Они представляют собой устройства, содержащие катализаторы, через которые пропускают ОГ. Вредные вещества, содержащиеся в ОГ (оксид углерода, углеводороды), на поверхности катализаторов окисляются с образованием безвредных диоксида углерода и воды [5].

Стоимость нейтрализаторов составляет от 150 до 350 у.е. Причем в среднем на катализатор приходится около 60% стоимости нейтрализатора.

В практике нашли применение катализаторы с содержанием благородных металлов, таких как платина и палладий. Они используются как в восстановительной среде, так и в окислительной и применяются для очистки отходящих газов промышленных производств и ОГ ДВС.

Использование катализаторов в процессах нейтрализации ОГ ограничивается дефицитностью и высокой стоимостью благородных металлов.

Традиционные способы приготовления катализаторов сводятся к нанесению каталитических компонентов на носитель, например $\gamma - Al_2O_3$, удельная поверхность которого составляет около 100 м^2/г [8]. Перед нанесением носитель обрабатывается сначала паром, потом пропитывается раствором солей каталитического состава и производится сушка и прокалка катализатора.

Процесс приготовления катализатора имеет ряд недостатков:

● уменьшение удельной поверхности носителя после нанесения каталитического компонента. Так, для носителя ШН-2 изменение составляет около 30 % при нанесения соединений платины, т.е. удельная поверхность снижается со 100 до 75 м^2/г;

● уменьшение общего объема пор на 20…45 % (для катализатора ШПК – 2 с 0,37 до 0,2…0,29 см^3/г);

● перерасход каталитического компонента с большой глубиной пропитки носителя приводит к лимитирующей стадии каталитической реакции, являющейся внешнедиффузионным торможением;

● уменьшение доступа реагентов к внутренним порам при эксплуатации приводит к росту кристаллов каталитического компонента (платины);

● резкое уменьшение удельной поверхности палладия и платины для ШПК-0,5 на 90 % (с 85 до 7 м^2/г) и для ШПК-2 на 83 % (с 60 до 10 м^2/г) получаемое при нагреве катализатора до 1000 °С в течение 100 часов [4].

Большое значение имеет глубина пропитки носителя. Если она превышает необходимую, то часть катализатора не работает. В среднем глубина пропитки составляет 0,3…0,4 мм. Поэтому для эффективного каталитического воздействия достаточно наносить катализатор только на поверхность [1, 6].

Катализаторы могут содержать благородные металлы и соединения неблагородных металлов. Опыт эксплуатации нейтрализаторов показал, что наиболее эффективны катализаторы с содержанием благородных металлов. Обычно содержание платины и палладия в катализаторах зарубежного производства составляет 0,5…2,5 масс. %, в отечественном производстве 0,1…0,5 масс. %. Следует отметить высокую стоимость катализаторов.

Большая часть представленных катализаторов в табл. 1 [7] приготовлены на базе шарикового носителя ШН-2 (производство катализаторной фабрики, г. Редкино), представляющих собой гранулы из γ-Al_2O_3 диаметром 3,5…6 мм, при стоимости 6700 у.е. за тонну.

В табл. 2 приводится стоимость каталитического компонента относительности стоимости катализатора и нейтрализатора.

Из табл. 2 следует, что на содержание каталитического компонента приходится в среднем около 86 % стоимости катализатора и 50 % стоимости нейтрализатора. В связи с этим необходим поиск технологий, снижающих стоимость приготовления катализатора.

Одним из способов, позволяющих решить эту задачу, является использование высокотехнологичных, экономичных процессов нанесения каталитических компонентов, например способом ионной имплантации [2].

Таблица 1

Стоимость промышленных катализаторов

Катализатор	Состав, масс. %	Носитель	Стоимость за 1 тонну, у.е.	Изготовитель
ШПК-2	0,2 % Pt	ШН-2	46700	I
ШПК-1	0,1 % Pt	ШН-2	38000	«–»
ОПК-2	0,2 % Pt	ШН-2	72500	«–»
ШПК–0,5	0,5 % Pd	ШН-2	48000	«–»
АЗИ-670	$CuO:Cr_2O_3$ –4,5:3,1 %	ШН-2	30000	«–»
АМЦ-Ю	Cu – 7…8 % Zn – 0,7…1 %	экструдатор	30000	«–»
КМГ	>22 % Cu	«–»	30800	«–»
АВК-10М	V_2O_5 – 12…15 % Mn_2O_5 – 0,7 %	«–»	30000	«–»
СМЦ	6 – 7 % Cu	Цеолит	6000	II
СНМ-У	CuO – ZnO – 53:26 %	Цилиндрики Ø 5, 6, 7 мм, длина 5 мм	10000	«–»

Примечания:

I – РФ, ЗАО «Юникс», Тверская область, г. Редкино, катализаторная фабрика.

II – Украина, Луганская область, г. Северодонецк, НИИ «Химтехнология».

Таблица 2

Стоимость каталитического компонента в устройствах нейтрализации

Показатели	ШПК-2	ШПК-1	ОПК-2	ШПК-0,5
Стоимость катализатора за 1 тонну, у.е.	46700	38000	72500	48000
Стоимость каталитического компонента, у.е.	40000	31300	65800	41300
Стоимость каталитического компонента, относительно стоимости катализатора, %	86	82	90	86
Стоимость каталитического компонента, относительно стоимости нейтрализатора, %	51	60	54	52

Ионная имплантация – это процесс, в котором посредством пучка высокоскоростных ионов практически любой элемент может быть внедрен в поверхность твердого тела, помещенного в вакуумную камеру. Ионы внедряются на глубину от 0,01 до 1 мкм [3].

Установка для осуществления данного процесса состоит из вакуумной рабочей камеры, в которой установлен источник ионов, управляемый блоком, и обрабатываемый носитель. К камере подсоединены вакуумный насос, система охлаждения источника ионов и система подачи плазмообразующего газа.

Источник ионов работает на принцип электрического разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях в парах легирующего элемента и плазмообразующего газа. Варьируя в источнике ионов мишень (центральную сменную часть), получают ионы необходимого легирующего элемента.

Данный способ является высокотехнологичным процессом и обладает рядом преимуществ:

- свойства поверхности могут изменяться в широких пределах без связи с объемными свойствами образца;
- процесс, в противоположность обычному легированию, применим к самым разным материалам (металлам, керамике);
- отсутствуют поверхности раздела (как в случае покрытий), часто являющейся объектом коррозии или источником ухудшения механических свойств;
- после обработки поверхности, при соответствующем подборе режима обработки, наблюдается увеличение удельной поверхности;
- расходуется очень малое количество добавки, поэтому при необходимости возможно использовать дорогие и редкие элементы без значительного повышения стоимости процесса;
- поверхность после имплантации может повышать свою каталитическую активность;
- процесс технологичен, хорошо контролируется и воспроизводится.

Опытный катализатор на базе носителя ШН-2 был апробирован на ПО «Азот» (г. Северодонецк) на лабораторной установке АВК-10 в реакции восстановления оксидов азота аммиаком. Эффективность катализатора – 76 %. При этом содержание платины составило около 0,02 масс. %.

В табл. 3 приводится сравнение показателей нейтрализатора с промышленным ШПК-2 и опытным катализаторами. Стоимость платины бралась согласно мировым ценам – 360 у.е. за тройскую унцию (11,5 у.е. за 1 грамм).

При сопоставлении приведенных данных был сделан вывод, что одним из реальных направлений снижения стоимости нейтрализатора является применение способа ионной имплантации.

Таблица 3

Сравнение показателей нейтрализатора с промышленным и опытным катализаторами

Показатели	Катализаторы	
	ШПК-2	Опытный
Содержание платины, масс. %	0,2	0,02
Масса платины в 1 тонне катализатора, г	2000	200
Стоимость платины в 1 тонне катализатора, у.е.	23000	2300
Стоимость катализатора за 1 тонну, у.е.	46700	26000
Снижение стоимости катализатора, %	56	
Снижение стоимости нейтрализатора, %	26	

В результате выявлено, что одним из путей снижения стоимости нейтрализаторов является уменьшение затрат на производство катализатора. Это происходит при производстве и использовании катализаторов современного высокотехнологичного способа ионной имплантации. Нанесение каталитических компонентов данным способом приводит к снижению стоимости катализатора на 60%, а нейтрализатора примерно на 25%.

Список литературы

1. Абдрашитов В.Г. Оптимальные режимы активации поверхности методом ионной имплантации / В.Г. Абдрашитов, В.В. Рыжов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1989. – № 7. – С. 148–149.

2. Злобин В.Н. Современный метод модификации поверхностных свойств изделий / В.Н. Злобин, А.С. Кудашев, Л.Р. Кущ // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2010. – Т. 10 (№ 1-2). – С. 216–218.

3. Ионная имплантация/ под ред. Дж.К. Хирвонена: пер с англ. – М.: Металлургия, 1985. – 392 с.

4. Каталитические нейтрализаторы транспортных двигателей / О.И. Жегалин, Н.А. Китросский, В.И. Панчишный, Н.Н. Патрахальцев, А.И. Френкель. – М.: Машиностроение, 1979. – 80 с.

5. Метод ионной имплантации – перспективное направление модификации поверхности изделий в строительстве [Электронное издание] / А.В. Зёма, В.Н. Злобин, Н.А. Кляхина, Л.Р. Кущ // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. – Вып. 3 (17) Режим доступа: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ZemaZlobinKlyakhinaKushch-2011_3(17).pdf.

6. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / под ред. Дж.М. Поута и др.; пер. с англ. Н.К. Мышкина и др.; под ред. А.А. Углова. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.

7. Окисление окиси углерода на окислах редкоземельных элементов, нанесенных на g – окись алюминия и промотированных палладием / Н.М. Попова, Д.В. Сокольский, Г.А. Щелкина и др. // Каталитическая очистка отходящих газов химических производств и автотранспорта. – Алма-Ата: ИОКЭ АН КазССР, 1973. – С. 47–69.

8. Технология катализаторов / И.П. Мухленов. – М.: Книга по требованию, 2013. – 272 с.

References

1. Abdrashitov V.G. Optimalnye rezhimy aktivacii poverhnosti metodom ionnoj implantacii / V.G. Abdrashitov, V.V. Ryzhov // Poverhnost. Fizika, himija, mehanika. 1989. no. 7. pp. 148–149.

2. Zlobin V.N. Sovremennyj metod modifikacii poverhnostnyh svojstv izdelij / V.N. Zlobin, A.S. Kudashev, L.R. Kushh // Fundamentalnye problemy radiojelektronnogo priborostroenija. 2010. T. 10 (no. 1–2). pp. 216–218.

3. Ionnaja implantacija/ pod red. Dzh.K. Hirvonena: per s angl. M.: Metallurgija, 1985. 392 p.

4. Kataliticheskie nejtralizatory transportnyh dvigatelej / O.I. Zhegalin, N.A. Kitrosskij, V.I. Panchishnyj, N.N. Patrahalcev, A.I. Frenkel. M.: Mashinostroenie, 1979. 80 p.

5. Metod ionnoj implantacii perspektivnoe napravlenie modifikacii poverhnosti izdelij v stroitelstve [Jelektronnoe izdanie] / A.V. Zjoma, V.N. Zlobin, N.A. Kljahina, L.R. Kushh // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaja. 2011. Vyp. 3 (17) Rezhim dostupa: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ZemaZlobinKlyakhinaKushch-2011_3(17).pdf.

6. Modificirovanie i legirovanie poverhnosti lazernymi, ionnymi i jelektronnymi puchkami / pod red. Dzh.M. Pouta i dr.; per. s angl. N.K. Myshkina i dr.; pod red. A.A. Uglova. M.: Mashinostroenie, 1987. 424 p.

7. Okislenie okisi ugleroda na okislah redkozemelnyh jelementov, nanesennyh na okis aljuminija i promotirovannyh palladiem / N.M. Popova, D.V. Sokolskij, G.A. Shhelkina i dr. // Kataliticheskaja ochistka othodjashhih gazov himicheskih proizvodstv i avtotransporta. Alma-Ata: IOKJe AN KazSSR, 1973. pp. 47–69.

8. Tehnologija katalizatorov / I.P. Muhlenov. M.: Kniga po trebovaniju, 2013. 272 p.

Рецензенты:

Рогачев А.Ф., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград;

Скитер Н.Н., д.э.н., профессор кафедры «Страхование и финансово-экономический анализ», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.

УДК 336.027

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

Гаджиагаев М.А.

АКБ «Торговый городской банк», Тверь, e-mail: gadjiagaev@mail.ru

Рассматривается разработанный автором метод стресс-тестирования коммерческого банка на основе расчета количественных показателей качества активов и качественного анализа финансового состояния банка-кредитора и в условиях выбранного одного из трех приведенных сценариев развития макроэкономического окружения. Показатели качества активов включают выборку из рекомендованных для анализа финансовой деятельности коммерческой кредитной организации, а также интегральный показатель качества активов. Для прогноза сценария деятельности банка предлагается система качественных показателей – индикаторов макроэкономического окружения, основанная на оценке сложившейся экономической ситуации, и построенный на их основе интегральный показатель выбора сценария. Предлагается созданная автором оригинальная группировка кредитных организаций по показателям стрессоустойчивости и надежности и приводятся рекомендации по выбору стратегии развития банка конкретной группы.

Ключевые слова: акционерный коммерческий банк, кредитный портфель банка, стресс-тестирование, стрессоустойчивость и надежность коммерческого банка, количественные показатели качества активов, качественные показатели и сценарный подход к оценке деятельности банка

QUANTITIVE AND QUALITIVE INDICATORS OF THE STRESS-RESISTANT AND RELIABILITY OF COMMERCIAL BANK

Gadzhiagaev M.A.

JSC «Trade City Bank», Tver, e-mail: gadjiagaev@mail.ru

Considers, the developed by the author, method of a commercial bank stress – testing based on quantitative indicators of asset quality and on qualitative analysis of the lending bank financial situation and in conditions of the selected macroeconomic scenarios of environment. Asset quality indicators include sample of the recommended for the analysis of financial activity of commercial credit organizations, and an integrated indicator of the assets quality. To forecast the scenario of bank activity, the system of macroeconomic indicators environment, based on the assessment of current economic situation, and built on their basis integral indicator selection scenario are offered. Proposes created by author an original group of credit institutions in terms of stress-resistant and reliability, and provides recommendations for choosing the bank's development strategy of the specific group.

Keywords: joint-stock commercial bank, the loan portfolio of the bank, stress-testing, stress- resistant and reliability of a commercial bank, quantitative asset quality indicators, quality indicators and scenario approach to the assessment of the bank's activity

Рост российской экономики невозможен без активного участия финансового сектора и, в первую очередь институтов банковской системы, которые могут оказать реальную помощь подъёму отечественного производства, активизации инвестиционной деятельности, росту занятости и решению других экономических и социальных проблем. Однако высокие предпринимательские риски в реальном секторе неизбежно инициируют кредитные риски, проблему которых можно решить лишь на основе эффективной системы идентификации, оценки и учета последних при формировании и управлении кредитным портфелем банка.

Стресс-тестирование – важное направление оценки возможных потерь коммерческого банка в форс-мажорных, но, тем не менее вероятных ситуациях. Не случайно Банк России определяет стресс-тестирование как «оценку потенциального воздействия на финансовое состояние кредитной организации ряда заданных изменений в факторах риска, которые соответствуют исключительным, но вероятным событиям».

Ввиду индивидуальности рискового профиля каждой кредитной организации, а также отсутствия унифицированных и общепринятых стандартов проведения стресс-тестирования коммерческие банки вынуждены разрабатывать собственные модели и процедуры проведения стресс-тестов.

В статье описывается методика проведения стресс-тестирования кредитного риска на основе сценарного анализа, используемая рядом кредитных организаций и в том числе АКБ «Торговый Городской Банк».

Напомним, что кредитный риск связан с возникновением убытков кредитной организации вследствие неисполнения, несвоевременного либо неполного исполнения заемщиком финансовых обязательств в соответствии с условиями договора.

Предлагаемая методика стресс-тестирования базируется на количественном и качественном анализе финансового состояния банка-кредитора и проводится по трём наиболее вероятным сценариям:

Сценарий 1 – стабильная ситуация, характеризуемая несущественным ухудшением расчётных показателей деятельности банка в пределах до 5%.

Сценарий 2 – кризисная ситуация, характеризуемая существенным ухудшением расчётных показателей в пределах от 6 до 20%.

Сценарий 3 – ситуация глобальных изменений рынков, характеризуемая значительным ухудшением расчётных показателей – более чем на 20%.

Количественный анализ финансового состояния коммерческого банка основан на следующих показателях

1. Качество активов – 1 (ПА1). Определяется как процентное отношение не покрытых резервами активов, резервы под которые составляют от 51 до 100%, к собственным средствам (капиталу) и рассчитывается по формуле

$$\text{ПА1} = \frac{\left(C_{4/5} - \text{РВПС}_{4/5}\right)}{K}, \qquad (1)$$

где $C_{4/5}$ – ссуды, под которые в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам, банк обязан формировать резервы в размере от 51 до 100%; $\text{РВПС}_{4/5}$ – резервы, фактически сформированные под $C_{4/5}$ в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам; К – собственные средства (капитал) банка.

2. Качество активов – 2 (ПА2). Определяется как процентное отношение непокрытых резервами активов, резервы под которые составляют от 21 до 50%, к собственным средствам (капиталу) и рассчитывается по формуле:

$$\text{ПА2} = \frac{C_3 - \text{РВПС}_3}{K}, \qquad (2)$$

где C_3 – ссуды, под которые в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам, банк обязан формировать резервы в размере от 21 до 50%; РВПС_3 – резервы, фактически сформированные под C_3 в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам.

3. Качество активов – 3 (ПА3). Определяется как процентное отношение не покрытых резервами активов, резервы под которые составляют от 1 до 20% к собственным средствам (капиталу) и рассчитывается по формуле

$$\text{ПА3} = \frac{C_2 - \text{РВПС}_2}{K}, \qquad (3)$$

где C_2 – ссуды, под которые в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам, банк обязан формировать резервы в размере от 1 до 20%; РВПС_2 – резервы, фактически сформированные под C_2 в соответствии с нормативными актами Банка России, регулирующими порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам и иным активам.

4. Доля просроченных ссуд (ПА4) – удельный вес просроченных ссуд в общем объёме ссуд. Рассчитывается по формуле

$$\text{ПА4} = \frac{\text{С3}_{\text{пр}}}{C_3}, \qquad (4)$$

где C_3 – ссуды, ссудная и приравненная к ней задолженность (далее – ссуды), определённые в соответствии с нормативным актом Банка России, регулирующим порядок формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам (далее – РВПС); $\text{С3}_{\text{пр}}$ – просроченные свыше 30 календарных дней ссуды, определённые в соответствии с нормативным актом Банка России, регулирующим порядок формирования кредитными организациями РВПС.

5. Размер резервов на потери по ссудам и иным активам (ПА5): процентное отношение фактически сформированного РВПС к общему объёму ссуд. Рассчитывается по формуле

$$\text{ПА5} = \frac{\text{РВПС}_{\text{ф}}}{C_3}, \qquad (5)$$

где $\text{РВПС}_{\text{ф}}$ – фактически сформированный в соответствии с нормативным актом Банка России РВПС.

6. Показатели концентрации рисков по активам включают показатель концентрации крупных кредитных рисков и показатель концентрации кредитных рисков на инсайдеров.

Показатель концентрации крупных кредитных рисков (ПА6) определяется в порядке, установленном для расчёта обязательного норматива Н7 «Максимальный размер крупных кредитных рисков» в соответствии с нормативным актом Банка России, устанавливающим порядок расчёта обязательных нормативов банка.

Показатель концентрации кредитных рисков на инсайдеров (ПА7) определяется в порядке, установленном для расчёта обязательного норматива Н10.1 «Совокупная величина риска по инсайдерам банка» в соответствии с нормативным актом Банка России, устанавливающим порядок расчёта обязательных нормативов банков, и регулирует (ограничивает) совокупный кредитный риск банка в отношении всех инсайдеров, к которым относятся физические лица, способные воздействовать на принятие решения о выдаче банком кредита.

7. Отток привлечённых средств (П8) отражает темп прироста (оттока) за отчётный период привлечённых средств.

8. Рентабельность кредитного портфеля ($P_{кп}$) определяется как отношение разности процентного дохода ($Д_{пр}$) и процентных расходов ($P_{пр}$) к общей величине кредитного портфеля банка и рассчитывается по формуле

$$P_{кп} = \frac{Д_{пр} - P_{пр}}{C3}. \quad (6)$$

9. Коэффициент покрытия процентных расходов ($К_{пр}$) определяется как отношение процентных расходов к процентным доходам. Этот показатель рассчитывается по формуле

$$К_{пр} = \frac{P_{пр}}{Д_{пр}}. \quad (7)$$

Обобщающий показатель по группе показателей оценки активов (ПА) представляет собой средневзвешенное значение показателей, определённых в пп. 1–8, и рассчитывается по формуле

$$ПА = \frac{SUM(балл_i \times вес_i)}{SUMвес_i}, \quad (8)$$

где $балл_i$ – оценка соответствующего показателя в баллах от 0 до 3; $вес_i$ – весовая оценка по шкале относительной значимости от 0 до 1 соответствующего показателя.

Балльная и весовая оценки показателей представлены в табл. 1.

В зависимости от значения обобщающего показателя ПА предложена следующая градация уровней стрессоустойчивости коммерческого банка (табл. 2).

Таблица 1

Балльная и весовая оценки показателей качества активов

Наименование показателя	Значения				Коэффициент
	Балл 0	Балл 1	Балл 2	Балл 3	
Показатель качества активов (ПА1) (%)	Свыше 25	10–25	5–10	Менее 5	0,05
Показатель качества активов (ПА2) (%)	Свыше 40	15–40	5–15	Менее 5	0,05
Показатель качества активов (ПА3) (%)	Менее 5	5–10	10–60	Свыше 60	0,1
Показатель доли просроченных ссуд (ПА4) (%)	Свыше 30	15–30	5–15	Менее 5	0,05
Показатель размера резервов на потери по ссудам (ПА5) (%)	Менее 2	2–5	5–15	Свыше 15	0,15
Показатель концентрации крупных кредитных рисков (ПА6) (%)	Свыше 700	700–400	200–400	Менее 200	0,1
Показатель концентрации кредитных рисков на инсайдеров (ПА7) (%)	Свыше 2	1–2	0,5–1	Менее 0,5	0,05
Показатель прироста (оттока) привлечённых средств (ПА8) (%)	Отток/приток средств свыше 30	Отток/приток средств от 20 до 30	Отток/приток средств от 10 до 20	Отток/приток средств от 0 до 10	0,15
Рентабельность кредитного портфеля $P_{кп}$	Менее 0,5	0,5–1	1–2	Свыше 2	0,15
Коэффициент покрытия процентных расходов $K_{пр}$	Свыше 1	0,8–0,6	0,4–0,6	Менее 0,4	0,15

Таблица 2

Оценка стрессоустойчивости коммерческого банка

Сумма баллов	Уровень стрессоустойчивости
ПА > 3	Высокий
1 < ПА ≤ 2	Удовлетворительный
ПА ≤ 1	Низкий

Качественный анализ основан на оценке сложившейся экономической ситуации и строится на основе следующих показателей:

1. «Характеристика экономики» отражает общую экономическую ситуацию в стране на основе данных СМИ и субъективного мнения экспертов банка.
2. «Конкуренция» отражает конкурентную позицию банка на соответствующем сегменте рынка банковских услуг.
3. «Ставка рефинансирования» отражает актуальное значение ставки рефинансирования ЦБ.
4. «ФОР» отражает тенденцию изменения показателя фонда обязательных резервов.
5. «Курс доллара США по отношению к рублю» отражает динамику изменения курса доллара США к рублю за последние 30 календарных дней.
6. «Денежно-кредитная политика ЦБ» характеризует проводимую ЦБ денежно-кредитную политику.
7. «Рейтинг страны» отражает позицию России на мировом финансовом рынке.
8. «ВВП на душу населения» определяется на основе данных СМИ.
9. «Репутация» отражает текущую репутацию банка.

Качественным показателям присваиваются весовые коэффициенты в соответствии с приведенными в табл. 3.

Таблица 3

Весовые значения качественных показателей

Показатель	Весовые коэффициенты
Характеристика экономики	0,15
Конкуренция	0,1
Ставка рефинансирования БР РФ	0,15
ФОР	0,1
Курс доллара США к рублю	0,1
Денежно-кредитная политика	0,1
Рейтинг страны	0,1
ВВП на душу населения	0,1
Репутация	0,1

Каждый качественный показатель принимает несколько значений, которым аналогично количественным показателям присваиваются баллы от 0 до 4. Сумма произведений балльного и весового значения показателей определяет итоговый показатель (ПК), на основе которого оценивается текущая экономическая ситуация (табл. 4).

Таблица 4

Оценка экономической ситуации

Сумма баллов	Экономическая ситуация
ПА > 3	Стабильная
1 < ПА ≤ 2	Кризисная
ПА ≤ 1	Ситуация глобальных рыночных изменений

Стабильная экономическая ситуация характеризуется устойчивым характером проводимой правительством экономической политики, свидетельствующим о безусловной финансовой надежности банковской системы и об отсутствии каких-либо негативных тенденций, способных отрицательно повлиять на общеэкономическую конъюнктуру.

Кризисная ситуация состоит в следующем: обнаружены недостатки и противоречия государственной экономической политики, существуют прямые угрозы финансовому положению банка, которые в обозримой перспективе (год или менее) могут привести к появлению финансовых трудностей.

Ситуация глобальных рыночных изменений возникает в условиях общемировой нестабильности, когда требуется кардинальный пересмотр экономической стратегии страны и принятие масштабных мер по стабилизации банковского сектора ввиду его фактической экономической несостоятельности и неплатёжеспособности.

Таким образом, на основе значения показателя ПК выбирается сценарий возможного развития экономической ситуации.

Сценарный анализ преимущественно нацелен на оценку стратегических перспектив кредитной организации. Он позволяет оценить потенциальное одновременное воздействие ряда факторов риска на деятельность кредитной организации в случае наступления экстремального, но вместе с тем вероятного события. На основе выбранного сценария рассчитывается значение комплексного показателя ПА и оценивается стрессоустойчивость банка. Одновременно проводится анализ финансового состояния банка на основе публикуемой финансовой отчётности. В результате формируется общий вывод о надёжности банка (табл. 5).

Таблица 5

Оценка надёжности банка

Стрессоустойчивость \ Финансовое положение	Высокая	Средняя	Низкая
Выше удовлетворительного	Надёжный	Потенциально надёжный	Сомнительной надёжности
Удовлетворительное	Потенциально надёжный	Сомнительной надёжности	Проблемной надёжности
Ниже удовлетворительного	Сомнительной надёжности	Проблемной надёжности	Ненадёжный

Надёжный банк имеет достаточно ресурсов для продолжения существования и выполнения функций финансового посредника в долгосрочной перспективе. Неизменная положительная динамика показателей финансового состояния характеризует банк как финансово устойчивый и платёжеспособный. Экономические и политический условия не оказали существенного влияния на деятельность банка, основная задача – чётко следовать выбранной стратегии развития в соответствии со складывающимися рыночными условиями.

Потенциально надёжному банку необходимо выработать стратегию улучшения финансового положения, учитывая следующее. Видимо, имеет место отвлечение собственных средств из производительного оборота, вызванное развитием производственной структуры банка, снижением оперативности распоряжения финансовыми ресурсами, возможными осложнениями с погашением обязательств. В случае отсутствия собственных средств-нетто необходимо выявить и устранить причины недостатка средств по данной статье, так как указанное свидетельствует о том, что банк осуществляет свою деятельность в основном за счёт привлечённых средств, что негативно отразится на его деловой активности.

Банку сомнительной надёжности необходимо активизировать участие на рынке ссудного капитала, увеличить объёмы финансирования приоритетных отраслей производства с использованием гибкой процентной политики и различных схем кредитования, стимулировать развитие инвестиционного кредитования. За счёт освоения новых банковских технологий и совершенствования имеющихся форм и методов работы с клиентами следует расширить спектр предоставляемых услуг на фондовом и валютных рынках. Банк должен стремиться к укреплению позиций на рынке безналичных расчётов через наращивание эмиссии пластиковых карт, зарплатных проектов для частных вкладчиков и корпоративных клиентов. На более высокую степень должна быть поставлена работа с персоналом банка с целью совершенствования его профессиональной подготовки и уровня квалификации.

Проблемный банк имеет неустойчивое финансовое положение. Для улучшения ситуации необходимо наращивать валовую прибыль, увеличивая доходы, снижая издержки и контролируя целевое использование прибыли. Также для наращивания активов, приносящих доход, необходимо расширять клиентуру, улучшая качество обслуживания, предоставляя более выгодные условия кредитования, вводя новые банковские продукты. Важной задачей является выработка эффективной и адекватной современным условиям кредитной политики.

Ненадёжному банку в условиях снижения объёмов активов и потери клиентской базы необходимо принятие оперативных мер для увеличения мобильных собственных средств, вовлекаемых в оборот активных операций. При этом должна повышаться способность банка к быстрому реагированию на изменения рыночной ситуации и возможность мобилизации финансовых ресурсов. Особое значение имеет выработка стратегии развития и внедрение рациональной организационной структуры, которая призвана решать задачи координации, детализации и мониторинга деятельности банка.

Таким образом, стресс-тестирование является эффективным инструментом банковского риск-менеджмента, призванным содействовать оценке возможных потерь кредитной организации в стрессовой ситуации, предотвращению убытков и банкротства банка.

Список литературы

1. О Центральном банке Российской Федерации (Банке России): Фед. закон Рос. Федерации от 10.07.2002 № 86-ФЗ: принят Гос. Думой Фед. Собр. Рос. Федерации 27.06.2002 (с учетом изменений и дополнений) [Электронный ресурс] // Справочно-правовая система «Консультант Плюс».

2. Банковская система в современной экономике: уч. пособие / под ред. проф. О.И. Лаврушина. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2012. – 360 с.

3. Белоглазова Г.Н. Банковское дело: организация деятельности коммерческого банка: учебник для бакалавров: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим специальностям / Г.Н. Белоглазова, Л.П. Кроливецкая, Санкт-Петербургский гос. ун-т экономики и финансов. – М.: Юрайт, 2012. – 422 с.

4. Белотелова Н.П. Управление кредитным портфелем коммерческого банка: монография, Информ.-внедренческий центр «Маркетинг». – М.: Информ.-внедренческий центр «Маркетинг», 2006. – 182 с.

5. Барыбин В.В. О механизме регулирования кредитных рисков в условиях нестабильности экономической конъюнктуры // Деньги и кредит. – 2011. – № 3. – С. 43–47.

References

1. O Centralnom banke Rossijskoj Federacii (Banke Rossii): Fed. zakon Ros. Federacii ot 10.07.2002 no. 86-FZ: prinjat Gos. Dumoj Fed. Sobr. Ros. Federacii 27.06.2002 (s uchetom izmenenij i dopolnenij) [Jelektronnyj resurs] // Spravochno-pravovaja sistema «Konsultant Pljus».

2. Bankovskaja sistema v sovremennoj jekonomike: uch. posobie/pod red. prof. O.I. Lavrushina. 2-e izd., ster. M.: KNORUS, 2012. 360 p.

3. Beloglazova, G.N. Bankovskoe delo: organizacija dejatelnosti kommercheskogo banka: uchebnik dlja bakalavrov: dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obuchajushhihsja po jekonomicheskim specialnostjam / G.N. Beloglazova, L.P. Kroliveckaja, Sankt-Peterburgskij gos. un-t jekonomiki i finansov. M.: Jurajt, 2012. 422 p.

4. Belotelova N.P. Upravlenie kreditnym portfelem kommercheskogo banka: monografija / N.P. Belotelova, Inform.-vnedrencheskij centr «Marketing». Moskva: Inform. vnedrencheskij centr «Marketing», 2006. 182 p.

5. Barybin, V.V. O mehanizme regulirovanija kreditnyh riskov v uslovijah nestabilnosti jekonomicheskoj konjunktury // Dengi i kredit. 2011. no. 3. pp. 43–47.

Рецензенты:

Титов В.А., д.э.н., профессор кафедры «Информационные технологии» РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва;

Тихомирова Е.И., д.э.н., декан кафедры «Математические методы в экономике», РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва.

УДК 338.35.053.3

ОСНОВЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ В ПЕРИОД САНКЦИЙ

Горбатов А.В.

ФГОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Калужский филиал, Калуга, e-mail: klg.ranepa.ru

Настоящая статья посвящена исследованию основ продовольственной безопасности России в период санкций Евросоюза и контрсанкций России. Введенные санкции и контрсанкции можно рассматривать, с одной стороны, как шанс для отечественных производителей продукции АПК, а с другой стороны, как угрозу для населения и страны в целом. Проведен анализ современного состояния агропромышленного комплекса: производства продукции растениеводства, животноводства, перерабатывающей промышленности, состояния сельскохозяйственной техники и др. В работе показан как положительный, так и отрицательный эффект от введенных санкций и контрсанкций. Положительный эффект состоит в увеличении объемов производства продукции сельского хозяйства и его переработки. Увеличение объемов продукции агропромышленного комплекса во многом обусловлено государственной поддержкой и инициативой товаропроизводителей. Отрицательный эффект выражается в снижении качества продукции и увеличении импорта отдельных продовольственных товаров и сырья. Особое внимание уделено развитию сельских территорий, развитию и поддержке крестьянских фермерских хозяйств. В определенной степени изложены перспективы развития агропромышленного комплекса. Исследованы отдельные аспекты состояния экспортной и импортной составляющей продовольственной безопасности России. Для сохранения и преумножения наметившихся положительных сдвигов выделены четыре направления укрепления продовольственной безопасности страны и дальнейшего развития процессов импортозамещения, которые выражаются в улучшении общих условий функционирования сельского хозяйства, особенно животноводства; создании предпосылок для устойчивого развития сельских территорий; повышении эффективности использования земельных ресурсов и их воспроизводства, а также развития аграрных технологий и повышения конкурентоспособности сельского хозяйства.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, импортозамещение, санкции, контрсанкции, агропромышленный комплекс, продовольственные товары, сельскохозяйственное сырьё

BASES OF FOOD SECURITY OF RUSSIA IN THE PERIOD OF SANCTIONS

Gorbatov A.V.

Federal public educational institution of higher education «Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration» Kaluga branch, Kaluga, e-mail: klg.ranepa.ru

The present article is devoted to research of bases of food security of Russia in the period of sanctions of the European Union and countersanctions of Russia. The imposed sanctions and countersanctions can be considered, on the one hand, as chance for domestic producers of production of agrarian and industrial complex, and on the other hand as threat for the population and the country in general. The analysis of a current state of agro-industrial complex is carried out: productions of plant growing, animal husbandry, processing industry, condition of agricultural machinery, etc. In work both the positive, and negative effect from the imposed sanctions and countersanctions is shown. The positive effect consists in increase in volumes of production of agriculture and its processing. The increase in volumes of production of agro-industrial complex is in many respects caused by the state support and an initiative of producers. The negative effect is expressed in decline in quality of production and significant increase in import of separate foodstuff and raw materials. The special attention is paid to development of rural territories, development and support of country farms. In a certain degree prospects of development of agro-industrial complex are stated. Separate aspects of a state export and the import making food security of Russia are investigated. For preservation and enhancement of the outlined positive shifts four directions of strengthening of food security of the country and further development of processes of import substitution which are expressed in improvement of the general operating conditions of agriculture, especially animal husbandry are allocated; creation of prerequisites for a sustainable development of rural territories; increase of efficiency of use of land resources and their reproduction, and also development of agrarian technologies and increase of competitiveness of agriculture.

Keywords: food security, import substitution, sanctions, countersanctions, agro-industrial complex, foodstuff, agricultural raw materials

Продовольственная безопасность во все времена и во всех странах является неотъемлемой частью национальной безопасности. Для России обеспечение продовольственной безопасности остается одной из центральных проблем в экономической, политической и социальной сферах.

Прошел год с 1 августа 2014 г., когда Евросоюз ввел санкции в отношении РФ в связи с событиями на Украине и воссоединением Крыма с Россией и в дальнейшем неоднократно расширял и продлевал их. Последнее решение о продлении было принято 22 июня 2015 года до 31 января 2016 года. Российское правительство было вынуждено принять ответные меры, и 7 августа 2014 г. был введен пакет ответных мер на санкции США, Австралии, Канады,

Евросоюза и Норвегии. Контрсанкции выразились в запрете на импорт в Россию из этих стран фруктов, овощей, молочной продукции, мяса и мясной продукции. В настоящее время в ответ на продление санкций Евросоюзом Россия продлевает контрсанкции.

Введенные санкции и контрсанкции можно рассматривать, с одной стороны, как шанс для отечественных производителей продукции АПК увеличить объемы производства продовольствия, освободившись от конкуренции (с не всегда качественной импортной продукцией), с другой стороны, как «удобный» фактор, который позволит увеличить цены и снизить качество собственной продукции в погоне за прибылями и это несмотря на государственную поддержку и прочие вложения в агропромышленный комплекс. Тем более быстрого роста объемов производства российской продукции ждать не приходится в силу особенностей сельского хозяйства и агропродовольственного рынка.

«В этом контексте сохранение продовольственного суверенитета напрямую коррелирует с текущим состоянием АПК РФ. В большинстве случаев понятие продовольственной безопасности предполагает обеспеченность населения основными продуктами питания, такими как зерно, картофель, овощи, мясо, молоко и яйца. Само обеспечение населения страны продовольствием в достаточном количестве и ассортименте представляет сложную проблему, включающую комплекс вопросов производства продовольственной продукции, импортной зависимости и экспортной ориентированности продовольственного рынка, платежеспособности и структуры питания населения» [4, с. 658].

Минувший год в значительной мере проверил на прочность сельское хозяйство и перерабатывающую промышленность.

Результаты работы сельскохозяйственного производства и перерабатывающей промышленности за это время в определенной степени обнадеживают [5].

В 2014 г. произведено 12,7 млн т скота и птицы на убой в живой массе, что на 4,0 % больше, чем в 2013 году. Производство на убой свиней увеличилось на 6,0 %, птицы – на 6,1 %, овец и коз – на 2,6 %.

Производство молока увеличилось составило 30,6 млн т при среднем надое молока на одну корову 5400 кг, что выше показателей 2013 г. на 399 кг или 8,0 %.

Средняя яйценоскость в сельхозорганизациях увеличилась по сравнению с прошлым годом и составила 306 штук.

За 2014 г. поголовье свиней составило 19,4 млн голов, что на 1,8 % больше, чем в 2013 г., поголовье овец и коз осталось без изменения – 24,3 млн голов.

В производстве зерновых и зернобобовых культур достигнуты следующие показатели урожая – 105,3 млн т зерна, что на 12,8 % больше, чем в 2013 году. Увеличились валовые сборы картофеля на 3 % (до 31,5 млн т), овощей открытого и закрытого грунта на 2,4 % (до 15,5 млн т).

В январе – ноябре 2014 г. сохранилась положительная динамика производства в пищевой и перерабатывающей промышленности при ускорении роста по сравнению с 2013 г. Индекс производства пищевых продуктов, включая напитки, и табака составил 103,0 % против 102,1 % в январе – ноябре 2013 г., в том числе мяса и мясопродуктов – 106,5 %, молочных продуктов – 102,9 %, переработки молока и производства сыра – 103,0 %, сахара – 116,9 %, производства фруктовых и овощных соков – 101,3 %, рафинированных масел и жиров – 110,1 %, макаронных изделий – 109,5 %, какао, шоколада и сахаристых кондитерских изделий – 102,2 %, продуктов переработки и консервирования картофеля, фруктов и овощей – 106,3 %, минеральных вод и других безалкогольных напитков – 101,7 процента.

По сравнению с 2013 г. выросли объемы выработки мяса и субпродуктов на 9,4 %, мясных полуфабрикатов на 7,0 %, колбасных изделий на 2,2 %, плодоовощных консервов на 4,9 %, масла растительного на 23,3 %, кондитерских изделий на 3,5 %, масла сливочного на 13,4 %, сыров и сырных продуктов на 12,3 %, майонеза и соусов на 1,3 %, крупы на 11,4 %), минеральной воды на 4,3 %), макаронных изделий на 7,3 %), консервов мясных на 1,0 %, сахара-песка из сахарной свеклы на 14,0 %.

Увеличение объемов продукции агропромышленного комплекса во многом обусловлено государственной поддержкой. Федеральным законом от 2 декабря 2013 года № 349-ФЗ «О федеральном бюджете на 2014 год и плановый период 2015 и 2016 годов» на государственную поддержку сельскохозяйственного производства в 2014 году предусмотрено субсидий в объеме 151304,45 млн руб. и на 1 января 2015 г. израсходовано более 149925 млн руб.

В 2015 г. в регионы уже перечислены субсидии на общую сумму 146,9 млрд руб., из них регионами доведено непосредственно до сельхозпроизводителей 66,5 млрд рублей», – сообщил Д. Юрьев, заместитель министра сельского хозяйства Российской Федерации.

По состоянию на 18 июня 2015 г. регионами сельхозпроизводителям перечислено

уже 80% средств федерального бюджета – по несвязанной поддержке, 86% – по субсидиям на 1 кг молока, порядка 50% – по субсидированию краткосрочных и инвестиционных кредитов [3].

В целом ситуация в большинстве регионов неплохая, для сравнения на аналогичную дату прошлого года было перечислено 48,5 млрд рублей.

Особое внимание уделено развитию сельских территорий. На федеральную целевую программу (ФЦП) «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года» – предусмотрено 10331,3 млн руб., из них субсидии на реализацию мероприятий ФЦП 10284,1 млн руб., на начало 2015 г. освоено более 10129 млн руб., или 98,5% от запланированного уровня.

По информации заместителя директора АККОР О. Башмачниковой, в 2014 г. государство поддержало 15% новых КФХ, в 2013 м – 13%. В 2015 г. на гранты молодым фермерам в бюджет было заложено 1,9 млрд руб., в июне эта сумма увеличена до 3,2 млрд руб. Всего таких фермерских ИП, по данным Росстата, в начале 2015 г. было 122,9 тыс. В этом году заявок на гранты со всей России уже было подано на 25 млрд руб., конкурс – 7–10 человек на один грант в зависимости от региона [2].

Согласно данным Федеральной налоговой службы, в первом квартале текущего года число индивидуальных предпринимателей в крестьянско-фермерских хозяйствах России выросло на 4,67 тыс. Только за весь прошлый год рост показателя составил чуть более 3 тыс., а в 2012–2013 годах он и вовсе падал. Это, полагают эксперты, стало возможным в том числе благодаря грантам на 1,5 млн руб., выделяемым таким предприятиям Министерством сельского хозяйства.

Проведя анализ, можно отметить как положительные, так и отрицательные моменты развития внешнеэкономической деятельности агропромышленного комплекса.

По оперативным данным Федеральной таможенной службы, в январе – ноябре 2014 г. в Российскую Федерацию ввезено продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья на 36321,4 млн долл. США или на 4,9% меньше, чем за соответствующий период 2013 г., когда его было импортировано на 38188,8 млн долл. США.

На 20,2% сократился ввоз мяса свежего и мороженого, на 13,4% мяса птицы, на 12,5% рыбы, на 12,2% молока и сливок сгущенных, на 2,8% цитрусовых, на 0,6% чая, на 3,6% какао-бобов, на 25,2% продуктов, содержащих какао, в 2,1 раза масла подсолнечного и алкогольных напитков на 1,8%.

Экспорт продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья в январе – ноябре 2014 г. составил 17141,3 млн долл. США, что на 19,1% больше, чем в январе – ноябре 2013 г.; за указанный период в 1,6 раза увеличился экспорт пшеницы и меслина.

В последние годы растет экспорт в развивающиеся страны, и его считают приоритетным направлением отдельные сельскохозяйственные предприятия страны. Так, например, группа агропредприятий «Ресурс» – один из крупнейших отечественных производителей мяса птицы, основные птицеводческие предприятия которого расположены в Ставропольском и Краснодарском краях, в 2013 г. отправили на экспорт 20 тыс. т продукции, или порядка 9% ее общего объема. Лидерами поставок среди стран дальнего зарубежья явились Вьетнам, Габон, Того, Бенин.

Интерес к юго-восточному и африканскому направлениям развития бизнеса объясняется быстрым ростом населения в странах Азии и Африки. Например, во Вьетнаме с 2005 по 2013 г. население увеличилось с 83,2 млн человек до 90 млн. В Бенине за десять лет численность населения выросла с 6,5 до 8,85 млн человек. Одновременно в этих странах активно идут процессы роста численности городского населения и, следовательно, все меньше жителей вовлечено в сельскохозяйственное производство. Это означает, что рынок продуктов питания в странах Азии и Африки будет стабильно расти еще много лет и требовать все больше продовольствия.

«Экспортный потенциал в птицеводстве – это не красивые слова, это одна из немногих отраслей, которые способны его реализовать, особенно в сегменте готовых продуктов, экспортировать которые намного выгоднее и проще», – убежден председатель совета директоров ГАП «Ресурс» Виктор Наурузов. По его мнению, уже через несколько лет Россия сможет экспортировать миллион тонн мяса птицы в год [7].

На недавно прошедшем в Ростове-на-Дону Первом Всероссийском форуме продовольственной безопасности глава исполнительного комитета Национальной мясной ассоциации Сергей Юшин отметил, что уровень потребления свинины в России уже составил 75 кг на душу населения в год и приблизился к уровню развитых стран (82–83 кг), поэтому серьезного роста внутреннего рынка ожидать не стоит. Другие отечественные производители мяса с ним согласны. Более того, они подчеркивают, что только экспорт может стать главным стимулом для новых инвестиций в эту отрасль сельского хозяйства. Соответственно,

единственным интересом для дальнейших инвестиций в свиноводство оказывается развитие экспорта.

Приведенные факты и анализ на первый взгляд, показывают в целом позитивную картину роста продовольственной независимости Российской Федерации, но существует много проблем, которые в короткий период решить невозможно или пока они не столь очевидны.

За 11 месяцев 2014 г. по сравнению с этим же периодом 2013 г. выросли физические объемы импортных закупок на 10,8% масла сливочного, кофе на 6,7%, сахара-сырца на 33,0%, табачных изделий на 7,0%. Значительно увеличились закупки сахара белого в 3,8 раза, изделий и консервов из мяса в 1,8 раз. Экспорт водки сократился на 9,8%.

В товарной структуре импорта доля продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья за 11 месяцев 2014 г. выросла по сравнению с 2013 г. на 1,2 процентных пункта и составила 13,8%.

Определенную озабоченность вызывает наличие, состояние и готовность сельскохозяйственной техники. По состоянию на начало 2015 г. у сельскохозяйственных товаропроизводителей Российской Федерации имеется 465,3 тыс. тракторов, 126,2 тыс. зерноуборочных комбайнов и 20,3 тыс. кормоуборочных комбайнов. Количество тракторов в 2014 г. по сравнению с 2013 г. сократилось на 2%, зерноуборочных комбайнов – на 2,3% и кормоуборочных комбайнов – на 5,3 процента. Готовность техники в среднем по Российской Федерации составляет: тракторов 86,2%, зерноуборочных комбайнов – 91,8%, кормоуборочных комбайнов – 89,6 процента [5].

Реализация процесса импортозамещения, конечно, имеет серьезное значение для укрепления продовольственной безопасности и большую долю рациональности и необходимости, но насколько оно в нашей ситуации это значительно.

И здесь можно привести актуальный пример. Рост производства сырной продукции в первом квартале 2015 г. составил 30%, а производство молока увеличилось всего на 0,3%. Производители сырной продукции и потребители знают, что в отличие от сыра она может содержать не молоко, а прочие составляющие. Можно предположить, почему произошло увеличение импорта пальмового масла за этот же самый период на 44% [1].

Кроме того, на 1 января 2015 г. в Российской Федерации насчитывалось крупного рогатого скота 19,2 млн голов, это 98,3% к уровню 1 января 2014 г., в том числе коров – 8,5 млн голов (97,7%). Производство яиц сократилось по сравнению с 2013 годом на 0,3% и составило 41,2 млрд штук.

Современное состояние агропромышленного комплекса России и проведенные исследования показали, что в определенной степени наметился рост производства продукции сельского хозяйства и его переработки, тем самым укрепления продовольственной безопасности, что во многом связано с увеличением государственной поддержки и инициативами самих производителей. Однако проблемы продовольственной безопасности страны, роста процессов импортозамещения не могут быть решены без решения сопутствующих проблем.

Для сохранения и преумножения наметившихся положительных сдвигов целесообразно выделить четыре направления укрепления продовольственной безопасности страны и дальнейшего развития процессов импортозамещения [6, с. 131–132].

Первое направление связано с улучшением общих условий функционирования сельского хозяйства, особенно животноводства, на основе: совершенствования форм и механизмов государственной поддержки в целях повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства, технической и технологической модернизации отрасли; повышения доступности кредитных ресурсов; поддержки, подготовки, закрепления и привлечения квалифицированных кадров для сельского хозяйства, улучшения условий их жизни; развития эффективно функционирующих рынков сельскохозяйственной продукции, совершенствования государственного регулирования рынков сельскохозяйственной продукции; развитие кооперации, расширение участия сельскохозяйственных товаропроизводителей в формировании государственной аграрной политики.

Второе направление предполагает создание предпосылок для устойчивого развития сельских территорий, включая: осуществление мер по улучшению демографической ситуации в сельской местности и обеспечению занятости сельского населения; развитие социальной инфраструктуры и инженерного обустройства села; улучшение жилищных условий сельского населения и благоустройство сельских поселений.

Третье направление связано с повышением эффективности использования земельных ресурсов и их воспроизводства на основе: улучшения почвенного плодородия, модернизации мелиоративных систем и расширения мелиорированных земель; развития эффективного оборота земель, создания условий для возврата земель в сельскохозяйственный оборот и расширения посевных площадей.

Четвертое направление предусматривает развитие аграрных технологий и повышение конкурентоспособности сельского хозяйства за счет: обеспечения подъема племенного животноводства и повышения продуктивности скота до уровня, сопоставимого с показателями европейских стран; применения интенсивных технологий в растениеводстве, поддержки элитного семеноводства и повышения урожайности основных культур.

Таким образом, в современных условиях национальные интересы самообеспечения страны отечественным продовольствием должны и впредь оцениваться выше временного преимущества «дешевого» импортного продовольствия. Это достаточно убедительно подтверждается многолетним опытом всех традиционно крупных мировых экспортеров продовольствия.

Список литературы

1. И снова санкции. Кто потеряет больше: ЕС или Россия? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.aif.ru/money/economy/i_snova_sankcii_kto_poteryaet_bolshe_es_ili_rossiy (дата обращения 23.06.15).

2. Королева А. Все уходят в фермеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://expert.ru/2015/06/24/fermer-za-1_5-milliona/(дата обращения 28.06.15).

3. Минсельхоз России: аграриям перечислено 40% от годового объема субсидий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mcx.ru/news/news/show/38448.355.htm (дата обращения 01.07.15).

4. Морозова О.В., Тимашкова Т.Е. Продовольственное импортозамещение в РФ: реалии и перспективы развития сельского хозяйства на 2015 г. [Статья] // Научный журнал «Фундаментальные исследования». – 2015. – № 5 (часть 3). – С. 658–662.

5. О текущей ситуации в агропромышленном комплексе Российской Федерации в декабре 2014 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx.ru/documents/document/v7_show/31743..htm (дата обращения: 30.06.15).

6. Продовольственная безопасность России. – М.: ГНУ ВНИИЭСХ, 2008. – 180 с.

7. Южные экспортеры ловят момент: кто и что экспортирует на юге России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://politinform.su/ekonomika-i-finansy/30844-yuzhnye-eksportery-lovyat-moment-kto-i-chto-eksportiruet-na-yuge-rossii.html (дата обращения 29.06.15).

References

1. I snova sankcii. Kto poteryaet bolshe: ES ili Rossiya? [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http: // www.aif.ru/money/economy/i_snova_sankcii_kto_poteryaet_bolshe_es_ili_rossiy (data obrashcheniya 23.06.15).

2. Koroleva A. Vse uhodyat v fermery [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://expert.ru/2015/06/24/fermer-za-1_5-milliona/(data obrashcheniya 28.06.15).

3. Minselhoz Rossii: agrariyam perechisleno 40% ot godovogo obema subsidij [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.mcx.ru/news/news/show/38448.355.htm (data obrashcheniya 01.07.15).

4. Morozova O.V., Timashkova T.E. Prodovolstvennoe importozameshchenie v RF: realii i perspektivy razvitiya selskogo hozyajstva na 2015 g. [Statya] // Nauchnyj zhurnal «Fundamentalnye issledovaniya». no. 5 (chast 3), 2015. pp. 658–662.

5. O tekushchej situacii v agropromyshlennom komplekse Rossijskoj Federacii v dekabre 2014 goda [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://mcx.ru/documents/document/v7_show/31743..htm (data obrashcheniya: 30.06.15).

6. Prodovolstvennaya bezopasnost Rossii. M.: GNU VNIIEHSKH, 2008. 180 p.

7. Yuzhnye ehksportery lovyat moment: kto i chto ehksportiruet na yuge Rossii [Elektronnyj resurs]. rezhim dostupa: http://politinform.su/ekonomika-i-finansy/30844-yuzhnye-eksportery-lovyat-moment-kto-i-chto-eksportiruet-na-yuge-rossii.html (data obrashcheniya 29.06.15).

Рецензенты:

Круглов В.Н., д.э.н., доцент, профессор кафедры экономики, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Калужский филиал, г. Калуга;

Крутиков В.К., д.э.н., профессор, проректор по научно-методической работе НОУ ВПО «Институт управления, бизнеса и технологий», г. Калуга.

УДК 331

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНОГО АППАРАТА УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТНЫМ РАЗВИТИЕМ СОЦИАЛЬНОГО КЛАСТЕРА РЕГИОНА

Дровянников В.И., Хаймович И.Н.

ЧОУ ВО «Международный институт рынка», Самара, e-mail: kovalek68@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант № 15-12-63002). Описаны проблемы и подходы к разработке моделей и механизмов организационно-экономического управления социальным кластером, направленных на поиск оптимальных решений по повышению конкурентоспособности кластера и региона в целом. Показано, что для оценки уровня конкурентоспособности целесообразно применять оценочные регрессионные модели, увязывающие показатель конкурентоспособности с факторами, критериями и показателями, характеризующими различные аспекты развития социально-экономической системы. Рассматриваются особенности и пути формирования инструментария управления социальным кластером на основе агент-ориентированного моделирования. Предложенный модельный аппарат управления конкурентным развитием социального кластера региона обеспечивает учет факторов, влияющих на его развитие, и позволяет на основе моделирования различных экономических ситуаций анализировать состояние социального кластера и оптимизировать поведение его субъектов.

Ключевые слова: социальный кластер, конкурентоспособность, агент-ориентированное моделирование, организационно-экономическое управление, инвестиционная политика

DEVELOPMENT OF A MODEL MANAGEMENT APPARATUS COMPETITIVE DEVELOPMENT OF THE SOCIAL CLUSTER IN THE REGION

Drovyannikov V.I., Khaymovich I.N.

POU VO «International Market Institute», Samara, e-mail: kovalek68@mail.ru

This work is executed at financial support of Russian Foundation for Humanities (grant № 15-12-63002). Describes the challenges and approaches to development of models and mechanisms of organizational and economic management of the social cluster, aimed at improving the competitiveness of the cluster and the region in General. It is shown that for the evaluation of the level of competitiveness is advisable to apply the estimated regression model linking the indicator of competitiveness factors, criteria and indicators describing various aspects of socio-economic system. Discusses the features and ways of development of social management instrumentation cluster-based agent-oriented modeling. The proposed model, the management apparatus competitive development of the social cluster of the region shall take into account the factors that influence its development, and allows modelling of different economic situations to analyze the state of social cluster and the behavior of its subjects.

Keywords: social cluster, competitiveness, agent-oriented modeling, organizational management, investment policy

Создание эффективных моделей и механизмов организационно-экономического управления социальным кластером имеет большое значение при поиске условий устойчивого развития и роста конкурентоспособности не только социального кластера и его субъектов, но и региона в целом [5, 9]. При этом необходимо решить ряд задач, в числе которых поиск оптимальных траекторий развития кластера, разработка адекватного модельного аппарата и инструментария управления, выявление и формализация факторов, влияющих на рост конкурентоспособности социально-экономической системы, создание инфраструктурных условий, способствующих росту инновационной составляющей в деятельности кластера [1, 13, 14].

Анализ опыта развития промышленных кластеров показывает особую значимость информационного управления, инструментарий которого основан на модельном аппарате [6, 8]. В свою очередь эффективность информационного управления кластером определяется наличием информационного пространства мезоуровня, обеспечивающего как внутрикластерное взаимодействие, так и взаимодействие кластера с внешней средой [11].

В работе [8] рассмотрена иерархическая система «центр – активные элементы» произведенной системы кластера и определена задача информационного управления и механизм согласования интересов агентов кластера. К социальной системе применим вывод о том, что учет активного целенаправленного функционирования не только общей системы кластера, но и составляющих подсистем является условием для разработки адекватного модельного аппарата.

Как показано в работах [1, 2, 10], эффективное решение этих задач возможно в рамках исследования кластера как динамической активной системы взаимодействующих экономических агентов с применением мультиагентного подхода к разработке методологии управления и методов имитационного моделирования.

Разработанные в ходе такого исследования механизмы и модели наряду с применением их при выработке рекомендаций для менеджмента субъектов кластера по стратегическому и оперативному управлению могут стать научной базой для формирования кластерной политики отрасли и региона, направленной на рост их конкурентоспособности [5, 12].

Модельный аппарат организационно-экономического управления социальным кластером позволяет на основе анализа влияния основных показателей и факторов на результаты его деятельности сформировать вектор кластерного развития.

Для оценки уровня развития кластера целесообразно использовать такой интегральный показатель, как конкурентоспособность. Модель конкурентоспособности социально-экономической системы основана, прежде всего, на выявлении факторов и параметров, влияющих на деятельность изучаемого объекта [4, 7, 11].

В качестве базовой модели конкурентоспособности можно предложить оценочную регрессионную модель, построенную методом факторного анализа по результатам экспертного исследования. Эти модели эффективно применялись в ряде работ [3, 11].

Следует отметить, что при учете факторов и показателей на основе методики частотного анализа каждому из них присваиваются соответствующие коэффициенты значимости. Факторы и показатели модели могут отражать процессы развития системы и меняться по времени. Это дает возможность проследить динамику конкурентоспособности и выявить тренды её развития.

Социально-экономическую среду региона будем представлять как совокупность отдельных систем, отличающихся по составу экономических агентов. Например, производственная система, финансовая система. В их числе и социальная система, которая исследуется как социальный кластер. Субъектами его являются предприятия и организации различных сфер: образовательной, культурно-досуговой, здравоохранения.

Представляет интерес создание модели управления кластером и выполнение на её основе исследования развития социальной сферы с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

В качестве среды проектирования агент-ориентированных моделей использован пакет имитационного моделирования AnyLogic.

При инициализации модели предложено распределить субъекты социального кластера на 4 группы (подкластеры).

Критерием этого распределения послужил найденный экспертным путем уровень конкурентоспособности субъекта кластера, который имеет интегральный характер и учитывает потенциал экономического агента, в том числе за счет инвестиций и других преференций.

Выделено четыре группы (подкластера) экономических агентов кластера:

– «сильные», которые инновационно ориентированы и активно развиваются;

– «средние», экономическое положение которых неустойчиво и требует результативного управления и внешней поддержки;

– «слабые», которые находятся в условиях стагнации и не имеют перспектив развития без проведения специальных мер;

– «ликвидированные», которые прекратили свою деятельность или влились в состав других субъектов кластера.

Модель функционирования кластера в экономическом пространстве региона имитирует взаимодействие субъектов кластера внутри группы и между группами, а также влияние на состав групп программ инновационного и кластерного развития, финансовых инвестиций и других внешних воздействий.

При этом исследуются процессы перемещения экономических агентов из одной группы в другую и вырабатываются рекомендации по управлению этими процессами с учетом целей развития кластера и социальной системы региона – увеличения их инновационного потенциала и конкурентоспособности.

При проектировании модели управления кластером определялись факторы, влияющие на его развитие, а также ресурсные и информационные потоки, характеризующие взаимодействие субъектов кластера на всех уровнях организационно-экономического управления.

Важной задачей исследования явилась оценка потенциала социальной системы с учетом изменения факторов за счет внешних и внутренних воздействий.

В качестве базовой модели, определяющей состояние социального кластера, принята оценочная модель, которая рассчитывает коэффициент конкурентоспособности K как интегральный показатель процесса конкурентного инновационного развития системы. Модель построена на основе методов факторного и регрессионного анализа. Она связывает K с комплексов факторов и критериев, характеризующих основные аспекты деятельности экономических агентов кластера. Каждый фактор рассматривается как набор количественных и качественных критериев. Критерий в свою очередь характеризуется совокупностью количественных и качественных показателей.

Следует отметить, что факторы и критерии могут коррелировать между собой. Межфакторная корреляция играет важную роль в процессе управления и в перспективе базовая модель может быть расширена.

Факторы и критерии необходимо выразить в относительных величинах, то есть провести процедуру нормирования.

В формализованном виде модель оценки конкурентоспособности социального кластера представлена в следующем виде:

$$K = F(\alpha_i, A_i),$$

где A_i – значение фактора; α_i – коэффициент значимости фактора (определяется экспертным путем); $i = \overline{1,n}$; n – число факторов.

В свою очередь каждый фактор можно представить в виде совокупности критериев, зависящих от набора показателей:

$$A_i = f(\beta_j, B_j(p_k)),$$

где $B_j(p_k)$ – значение критерия; p_k – значение показателя; β_j – коэффициент значимости критерия; $j = \overline{1,m}$; m – число критериев; $k = \overline{1,l}$; l – число показателей.

Целевую функцию определяет поиск максимума прироста конкурентоспособности в многомерном факторном пространстве, $\Delta K \to \max$.

Оптимум ищется в границах допустимого изменения факторов и критериев в процессе управления организационной экономической деятельностью кластера.

Такой подход применительно к социальному кластеру региона, состояние развития которого является ключевым детерминантом процесса конкурентного развития территории, позволил представить базовую оценочную модель в следующем виде:

$$K_c = \alpha_1^c \cdot A_1^c + \alpha_2^c \cdot A_2^c + \alpha_3^c \cdot A_3^c + \\ + \alpha_4^c \cdot A_4^c + ... + \alpha_9^c \cdot A_9^c,$$

где $\alpha_1^c, \alpha_2^c, ..., \alpha_9^c$ – коэффициенты значимости факторов; A_1^c – уровень материальной обеспеченности населения; A_2^c – состояние демографии; A_3^c – уровень обеспеченности жильем; A_4^c – состояние системы обеспечения правопорядка и безопасности; A_5^c – состояние системы социальной защиты населения; A_6^c – состояние системы торгово-бытового обслуживания; A_7^c – состояние системы образования; A_8^c – состояние системы здравоохранения; A_9^c – состояние культурно-досуговой сферы.

Для данной модели выбраны факторы, которые управляемы в той или иной степени.

На начальном этапе исследования было изучено влияние на конкурентоспособность региона трех факторов: состояния систем образования, здравоохранения и культурно-досуговой сферы.

В соответствии с предложенной методикой состояние системы образования оценивалось с помощью следующей модели:

$$A_7^c = \sum_{i=1}^{b} \sum_{j=1}^{c} p_{ij},$$

где $i = \overline{1,b}$; b – количество видов образовательных организаций (детский сад, школа, вуз и т.п.); p_{ij} – параметры, характеризующие деятельность образовательной организации; $j = \overline{1,c}$; c – количество параметров.

В модели параметры выражены в относительных величинах. Например, такой параметр, как коэффициент обновления основных фондов – $\frac{S_i}{S_i^{bs}}$, где S_i – стоимость новых основных фондов, введенных в эксплуатацию в i-м виде образовательной организации в исследуемом периоде; S_i^{bs} – балансовая стоимость основных фондов i-го вида образовательной организации на конец исследуемого периода.

Входящие в модель показатели можно разделить на три группы: объемные (количество организаций, объем предоставляемых услуг), финансовые (стоимость услуг, уровень бюджетного финансирования, объем прибыли, объем средств, потраченных на развитие, и т.п.) и качественные (уровень квалификации персонала, качество услуг и т.п.).

Сформированная таким образом оценочная модель позволяет изучать реакцию социальной системы региона на изменения факторов, критериев и показателей. С помощью модели определяется уровень конкурентного потенциала экономических агентов кластера, который является основным параметром агент-ориентированной модели и определяет развитие субъектов кластера.

На следующем этапе формирования модельного аппарата была разработана агент-ориентированная модель управления кластером. Модель реализована в среде имитационного моделирования AnyLogic и позволяет интегрировать средства нескольких областей имитационного моделирования и получить адекватную динамическую картину взаимодействия субъектов социальной сферы региона.

Пакет AnyLogic основан на объектно-ориентированной концепции. Модель представляется как набор взаимодействующих, параллельно функционирующих активных агентов. Поведение агентов задается диаграммой состояния. На рис. 1 представлена структурная схема модели.

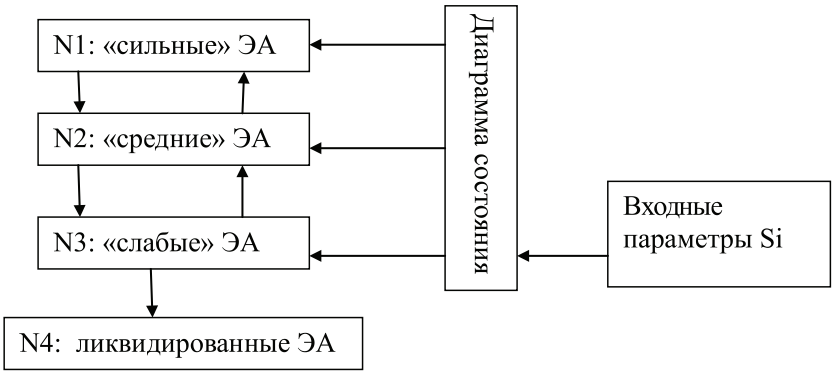


Рис. 1. Структурная схема модели

На схеме показано взаимодействие между субъектами социального кластера под воздействием входных параметров, которые изменяются в рамках заданного интервала. В результате субъекты кластера переходят из одного подкластера в другой. Имитируется ситуация в социально-экономической сфере, когда в экономике проявляются кризисные явления.

В соответствии с разработанным подходом выделены четыре группы (подкластера) экономических агентов (ЭА) – сильные, N_1; средние, N_2; слабые, N_3; ликвидированные N_4. Здесь N – количество субъектов кластера в каждой группе, которое в агент-ориентированной модели является выходным параметром. Модель имитирует экономическую ситуацию, когда в условиях проявления кризисных явлений в экономике региона осуществляется ресурсная поддержка субъектов социальной сферы путем инвестиций в их развитие, налоговых льгот и других преференций.

В качестве входных параметров (S) выбраны следующие:

S_1 – степень устойчивости ЭА к кризисным явлениям;

S_2 – потенциал конкурентоспособности ЭА как уровень ресурсного обеспечения его развития;

S_3 – интегральный показатель уровня кризиса как степень выраженности кризисных явлений, влияющих на деятельность ЭА;

S_4 – степень инерционности развития ЭА, характеризующая его неспособность реализовать поступающие ресурсы;

S_5 – степень стагнации ЭА как период деятельности после, которого происходит его реогранизация путем ликвидации или присоединения.

Эти показатели выражаются в нормализованном виде и меняются в заданных интервалах варьирования.

Диаграмма состояния задает логику действий ЭА во времени, его состояния и условия перехода из одной группы субъектов социального кластера в другую. Имитируется поведение ЭА во времени под воздействием выбранных переменных.

Расчеты по модели в режиме виртуального времени позволяют выполнить факторный анализ поведения агентов в кризисных экономических условиях. Это дает возможность определить состояния и пути укрепления устойчивости социальной сферы путем воздействия на факторы, определяющие ее развитие. В качестве примера рассмотрим результаты тестовых прогонов модели. В таблице приведены значения входных параметров в соответствии с вариантами расчета.

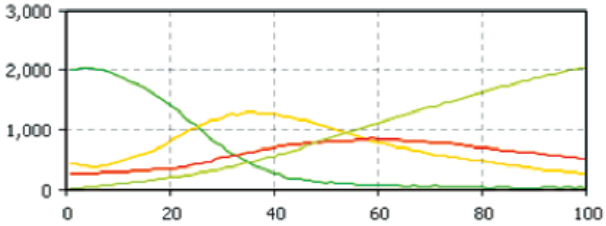
Значения S выражены в нормированных величинах. Допустимые интервалы их варьирования: S_1 – 1–50; S_2 – 0–1; S_3 – 5–50; S_4 – 10–30; S_5 – 10–30.

Первоначальное количество ЭА в группах – $N_1 = 2000$; $N_2 = 400$; $N_3 = 250$, $N_4 = 0$.

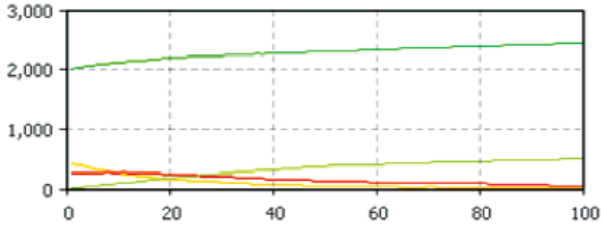
Динамика распределения ЭА по группам в зависимости от изменения параметров представлена на рис. 2.

Значения параметров

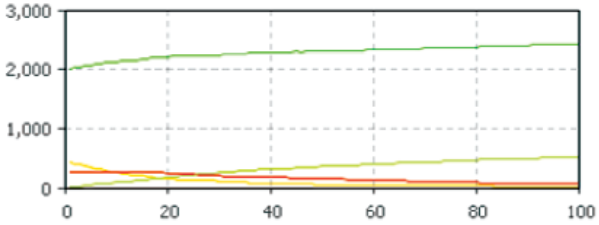
Вариант расчета	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
1	10	0,12	20	15	15
2	5	0,55	10	20	20
3	10	0,51	10	10	20



Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3

Рис. 2. Динамика распределения ЭА по подкластерам социальной системы: N – количество ЭА; T – период времени (усл. ед.); темно-зеленая линия – сильные; желтая линия – средние; красная линия – слабые; светло-зеленая линия – ликвидированные

Графики характеризуют изменения состояния социального кластера в период кризисных явлений в экономике и показывают влияние на его устойчивость и развитие инвестиций и других ресурсов. Недостаток инвестиций, как свидетельствует вариант 1, приводит к быстрому сокращению количества успешных субъектов кластера и нарастанию числа банкротств.

В период уменьшения кризисных явлений поддержка деятельности социального кластера путем создания ресурсов для роста конкурентоспособности субъектов кластера приводит к положительной динамике в развитии, даже при сравнительно небольшой степени его устойчивости (варианты 2 и 3).

Результат расчетов свидетельствует о работоспособности модели.

Предложенный модельный аппарат управления конкурентным развитием социального кластера региона обеспечивает учет факторов, влияющих на его развитие, и позволяет на основе моделирования различных экономических ситуаций анализировать состояние социального кластера и оптимизировать поведение его субъектов. Все это создает научную основу для выработки рекомендаций по обеспечению устойчивого развития социальной сферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (грант № 15-12-63002).

Список литературы

1. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. – М.: ЗАО Изд-во «Экономика». 2008. – 279 с.

2. Дровянников В.И. Мультиагентный подход к исследованию системы подготовки профессиональных кадров // Экономические науки. – 2010. – № 11(72) – С. 274–277.

3. Дровянников В.И. Разработка методологии и модельного аппарата для синтеза управлением вузом в условиях модернизации экономики // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 11(73). – С. 32–36.

4. Дровянников В.И., Хаймович И.Н. Концепция организационно-экономического управления кластерным развитием социальной сферы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 334.

5. Дровянников В.И., Хаймович И.Н. Моделирование конкурентного взаимодействия вузов на рынке образовательных услуг // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 1 – С. 22–26.

6. Жук М.А. Информационное пространство мезоуровня, как обеспечивающая среда формирования региональной промышленной политики // Вестник экономической интеграции. – М., 2009. – № 7 – С. 62–71.

7. Кукольникова Е.А. Модель управления конкурентоспособностью функционального промышленного кластера // Актуальные проблемы экономики и права. – 2013, – № 1(25). – С. 195–201.

8. Кукольникова Е.А., Рамзаев В.М., Хаймович И.Н. Согласование внутренних интересов в процессе производственного развития региональных промышленных кластеров на основе информационного управления // Вестник Самарского государственного экономического университета. – Самара, 2014. – № 12(122). – С. 32–40.

9. Маркова О.В. Стратегическое управление инновационным развитием Самарской области на основе интеграционных образований // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. – № 12(122). С.50-54.

10. Марков В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). – М.: Экономика. 2013. – 295 с.

11. Рамзаев В.М. Некоммерческие организации: экономика, предпринимательство, партнерство. – Самара: Изд-во СНЦ РАН. 2006. – 400 с.

12. Рамзаев В.М., Кукольникова Е.А. Управление пространственной организацией и динамикой развития сложных социально-экономических систем территорий // Проблемы современной экономики. – 2013. – № 4(48) – С. 48–52.

13. Рамзаев В.М., Хаймович И.Н., Чумак П.В. Управление инвестиционными проектами при проведении энергомодернизаций предприятий в регионе // Экономические науки. – 2013. – № 4(11). – С. 109–113.

14. Саяпина К.В. Формирование инновационных кластеров как инструмент эффективного экономического управления // Эффективное антикризисное управление. – 2013. – № 6(81). – С. 88–95.

References

1. Bakhtizin A.P. *Agent-orientirovannye modeli economiki*. Moscow, Economika, 2008, 279 p.

2. Drovyannikov V.I. *Economicheskie nauki,* 2010, no.11, pp. 274–277.

3. Drovyannikov V.I. *Vestnik samarskogo gosudarstvennogo economicheskogo universiteta,* 2010, no. 11, pp. 32–36.

4. Drovyannikov V.I., Khaimovich I.N. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya,* 2014, no. 5, pp. 334.

5. Drovyannikov V.I., Khaimovich I.N. – *Vestnik samarskogo gosudarstvennogo economicheskogo universiteta,* 2010, no. 1, pp. 22–26.

6. Zhuk M.A. – *Vestnik economicheskoi integratsii, 2009,* no. 7, pp. 62–71.

7. Kukolnikova E.A. – *Aktualnye problemy economiki i prava,* 2013, no. 1, pp. 195–201.

8. Kukolnikova E.A., Ramzaev V.M., Khaimovich I.N. – *Vestnik samarskogo gosudarstvennogo economicheskogo universiteta,* 2014, no. 12, pp. 32–40.

9. Markova O.V. – *Vestnik samarskogo gosudarstvennogo economicheskogo universiteta,* 2014, no. 12, pp. 50–54.

10. Markov V.L., Bakhtizin A.P. *Socialnoe modelirovanie – novyi kompyuternyi proryv* (*agent-orientirovannye modeli)*. Moscow, Economika, 2013, 295 p.

11. Ramzaev V.M. *Nekommercheskie organizatsii: economika, predprinimatelstvo, partnerstvo.* Samara, SNTs RAN, 2006, 400 p.

12. Ramzaev V.M., Kukolnikova E.A. – Problemy sovremennoi economiki, 2013, no. 4, pp. 48–52.

13. Ramzaev V.M., Khaimovich I.N., Chumak P.V. – *Economicheskie nauki, 2013, no. 4, pp. 109–113.*

14. Sayapina K.V. – *Effectivnoe antikrizisnoe upravlenie,* 2013, no. 6, pp. 88–95.

Рецензенты:

Гераськин М.И., д.э.н., профессор, зав. кафедрой математических моделей и методов в экономике, Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королева, г. Самара;

Макаров А.А., д.т.н., профессор кафедры информационных систем и компьютерных технологий, ЧОУ ВО «Международный институт рынка», г. Самара.

УДК 336.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Киселева Н.Н., Орлянская А.А., Ступникова О.Е.

Северо-Кавказский институт – филиал ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Пятигорск, e-mail: kiseleva-n-n@yandex.ru, orlyanna@yandex.ru, oks-ev@yandex.ru

В статье проведен анализ степени зависимости бюджетной системы регионов Северо-Кавказского федерального округа от поступлений из федерального бюджета, что актуализирует исследования в области совершенствования государственного финансового контроля. Показано, что недостаточно эффективно реализуется контрольная функция Счетной палаты. Предложено сформировать единую систему государственного финансового контроля и принять закон о государственном финансовом контроле, где определить формы, методы, виды, направления государственного финансового контроля, а также разграничить сферы ведения существующих контрольных органов; внести поправки в Бюджетный кодекс РФ с целью конкретизации сущности целевого и нецелевого использования бюджетных средств; разработать единые для всех контрольных органов формы отчетности о финансовых нарушениях и причиняемом ущербе и иные меры по повышению эффективности государственного финансового контроля на региональном уровне.

Ключевые слова: бюджет, регион, финансовый контроль, целевое расходование средств

IMPROVEMENT OF STATE FINANCIAL CONTROL AT THE REGIONAL LEVEL

Kiseleva N.N., Orlyanskaya A.A., Stupnikova O.E.

The North Caucasus institute-branch of the Russian academy of national economy and public service at the President of the Russian Federation, Pyatigorsk, e-mail: kiseleva-n-n@yandex.ru, orlyanna@yandex.ru,oks-ev@yandex.ru

The article analyzes the degree of dependence of the budget system of the North Caucasus Federal District of the proceeds from the federal budget, which is updated by the study on improving public financial control. It is shown that not effectively implemented the control function of the Chamber of Accounts. It is proposed to establish a unified system of state financial control and adopt a law on state financial control, which determine the forms, methods, types, directions of state financial control and delimit the scope of reference of existing review bodies; amendments to the Budget Code of the Russian Federation with a view to specifying the nature of the target and non-target use of budgetary funds; develop common to all forms of control of financial reporting violations and causes damage and other measures to improve the effectiveness of state financial control at the regional level.

Keywords: budget, region, financial control, targeted spending

Экономическое пространство Российской Федерации характеризуется значительными межрегиональными диспропорциями. Регионы Северо-Кавказского федерального округа являются проблемной территорией, демонстрирующей более низкие социально-экономические показатели в условиях непростой этнополитической ситуации.

Суммарно регионы СКФО обеспечивают около одного процента налоговых поступлений в бюджетную систему страны. При этом остро стоит проблема задолженности по налогам и сборам (рис. 1).

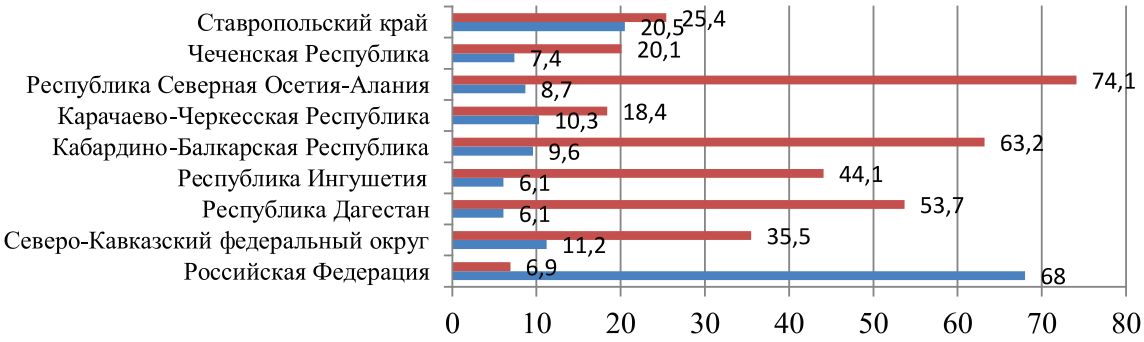


Рис. 1. Объемы налоговых поступлений и задолженность по налогам и сборам по регионам Северо-Кавказского федерального округа в 2012 году [4]

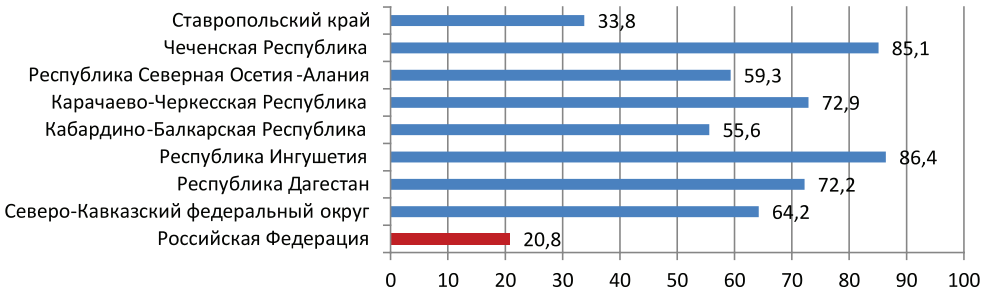


Рис. 2. Доля безвозмездных поступлений в структуре доходов региональных бюджетов Северо-Кавказского федерального округа в 2012 году, % [4]

В сложившейся ситуации исполнение расходных обязательств региональных бюджетов становится возможным преимущественно за счет федеральной помощи (рис. 2).

Помимо трансфертов из вышестоящих уровней бюджетной системы источником финансирования территориального развития являются реализуемые в округе масштабные целевые программы: ФЦП «Юг России», Государственная программа Российской Федерации «Развитие Северо-Кавказского федерального округа» на период до 2025 года и т.д. Только в рамках последней из федерального бюджета предполагается выделить на период с 2013 по 2020 годы 204677378,9 тыс. рублей.

Расходы региональных бюджетов на душу населения даже в этом случае ниже среднероссийских значений. Расходы на одного жителя приближаются к средним по стране показателям лишь в Чеченской Республике и Республике Ингушетия. Значительная часть этих средств расходуется на закупки товаров, работ и услуг для государственных и муниципальных нужд в соответствии с положениями федеральной контрактной системы (рис. 3).

Максимальна доля расходов на закупки для государственных и муниципальных нужд в общем объеме бюджетных расходов в Республике Ингушетия и Чеченской Республике. Расходуется соответственно 25 и 20,5 тысяч рублей на одного жителя.

Законодательство о закупках в Российской Федерации находится на очередном этапе эволюции, которая активно идет с 1991 года. За период трансформации экономики нашей страны сменилось несколько базовых нормативных актов в этой области. Реформирование идет по пути внедрения и укрепления конкурентных начал определения поставщика (подрядчика, исполнителя) для обеспечения экономии бюджетных средств, пресечения возможностей сговора заказчиков и участников торгов, сокращения объемов бюджетных средств, выводимых в теневой оборот с помощью коррупционных схем. Эффективность работы законодательства о закупках в регионах Северо-Кавказского федерального округа традиционно ниже, чем в других регионах России. Этот вывод подтверждает анализ информации официального сайта Российской Федерации для размещения информации о размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг (рис. 4).

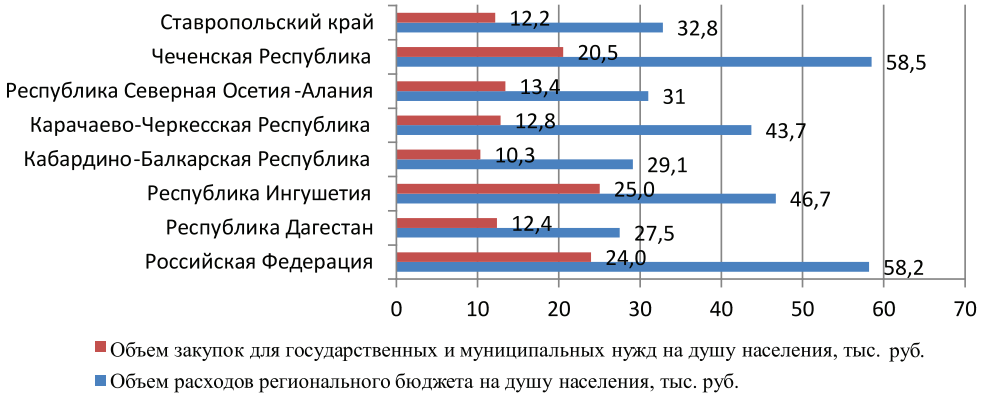


Рис. 3. Объемы расходов региональных бюджетов регионов Северо-Кавказского федерального округа в 2013 году [3, 4]

Рис. 4. Отношение суммы сэкономленных средств к суммарной начальной цене всех заказов на поставку товаров, выполнение работ и оказание услуг для государственных и муниципальных нужд в некоторых регионах России в 2013 году, % [3, 4]

Экономия бюджетных средств в регионах СКФО гораздо ниже, чем в других регионах страны. Чеченская Республика, Республика Дагестан и Республика Ингушетия замыкают федеральный рейтинг регионов по бюджетному эффекту проведения конкурентных процедур определения поставщика (подрядчика, исполнителя).

Все вышеозначенное подтверждает необходимость развития в регионах СКФО эффективного государственного контроля, как контроля за рациональным и эффективным использованием государственных финансовых и материальных ресурсов. Для оценки современного состояния системы государственного финансового контроля остановимся более подробно на деятельности Контрольно-счетной палаты Ставропольского края.

Так, на рис. 5 видно, что подавляющее большинство мероприятий, осуществляемых Контрольно-счетной палатой Ставропольского края (более 88%) приходится на экспертно-аналитические мероприятия. Количество же совместных проверок и контрольных мероприятий не так велико и составляет порядка 30 в год.

Представленные данные по проведенным мероприятиям представляют наибольший интерес в увязке с выявленными объемами финансовых нарушений (табл. 1).

Таблица 1

Информация о финансовых нарушениях, выявленных Контрольно-счетной палатой Ставропольского края (тыс. руб.) [1, 2]

	2012	2013
Объем денежных средств, охваченных мероприятиями	39237400	41511500
Финансовые нарушения	4332450	6639610
Предписано устранить нарушений	430380	60420

Из представленных данных очевидно, что при общем сокращении количества мероприятий, проведенных КСП СК, объем денежных средств, охваченных мероприятиями, вырос более чем на 5%, а объем выявленных финансовых нарушений вырос более чем в 1,5 раза. При этом предписания на устранение нарушений сократились в 2013 г. по сравнению с 2012 г. более чем в 7 раз.

Анализ основных объектов, попавших под контрольную и экспертно-аналитическую деятельность КСП СК, также показал их общее сокращение за анализируемый период 2012–2013 гг. на 10% за счет сокращения проверок муниципальных образований (с 42 до 30). При этом КСП СК усилил работу по проверке главных распорядителей бюджетных средств (табл. 2).

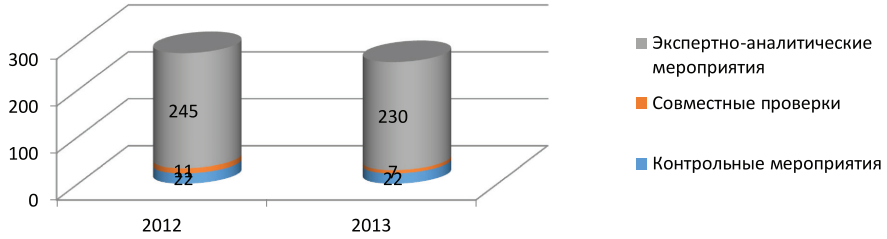


Рис. 5. Мероприятия, проведенные Контрольно-счетной палатой Ставропольского края в 2012–2013 гг. [1, 2]

Таблица 2

Объекты Ставропольского края, охваченные контрольными и экспертно-аналитическими мероприятиями в 2012–2013 гг. (тыс. руб.) [1, 2]

	2012	2013
Объекты, всего:	101	92
ГРБС	30	36
Муниципальные образования	42	30
Государственные, муниципальные учреждения и предприятия	27	22
Другие	2	4

В соответствии с Законом от 05.04.2013 г. № 41-ФЗ «О счетной Палате Российской Федерации» к основным видам контрольной и экспертно-аналитической деятельности относятся: финансовый аудит (контроль), аудит эффективности, стратегический аудит, иные виды аудита (контроля) [5].

В последнее время все более пристальное внимание на субфедеральном уровне начинает уделяться именно аудиту эффективности, что обусловлено повышением степени гласности и прозрачности организации бюджетного процесса, которая сама по себе приводит к сокращению количества серьезных финансовых нарушений и прежде всего нецелевого использования бюджетных средств (табл. 3).

Данные по Ставропольскому краю действительно демонстрируют сокращение нарушений в сфере нецелевого использования (почти в 3 раза в 2013 г. по сравнению с 2012 г). Однако общий объем финансовых нарушений в СК не только не сокращается, но и возрастает (в 1,5 раза за рассматриваемый период). Данный рост произошел за счет роста финансовых нарушений, связанных с неэффективным использованием бюджетных средств. Данный показатель вырос более чем в 30 раз за рассматриваемый период.

Таблица 3

Финансовые нарушения, выявленные Контрольно-счетной палатой Ставропольского края в 2012–2013 гг. (тыс. руб.) [1, 2]

	2012	2013
Финансовые нарушения, из них	4332450	6639610
Нецелевое использование	12500	4200
Неэффективное использование	109820	3416400
Нарушения в организации бюджетного процесса	171800	30190
Другие	4038300	3188820

Тем не менее именно к оценке целевого использования бюджетных средств контрольные органы подходят зачастую формально. Так, если должностное лицо приобрело необходимое, но не предусмотренное сметой имущество, которое привело к экономии средств, оно подпадает под правонарушение. При этом лицо, приобретшее имущество по смете, даже заметно превышающее рыночную цену, оказывается действующим в рамках закона. Считается, что целевой характер бюджетных расходов им обеспечен. Усугубляет ситуацию и то, что правоохранительные органы с неохотой берутся за дела, связанные с нецелевым расходованием средств, так как такие дела являются практически недоказуемыми. Внедрение аудита эффективности позволяет повысить ответственность бюджетополучателей. В развитых странах аудит эффективности занимает от 60 до 70% в общем объеме контрольных мероприятий. Его развитие обосновывается тем, что контрольно-ревизионная деятельность привела к постепенному сокращению выявленных нарушений, фактов нецелевого расходования средств. А ошибки, выявляемые проверками, включали в себя только арифметические неточности, погрешности, несоблюдение отдельных формальностей. Поэтому упор в деятельности стал смещаться на анализ эффективности расходования бюджетных ресурсов. Также развитые страны имеют богатый опыт использования бюджетирования, ориентированного на результат, что предполагает увязку расходов с программами и обоснование конечных результатов с точки зрения эффективности. Еще одним поводом для развития аудита эффективности стало четкое деление финансового контроля на внутренний и внешний. Последний предполагал отказ от проведения детальных проверок финансовой отчетности, что стало функциями внутреннего финансового контроля и более масштабного контроля осуществления эффективности расходования бюджетных средств. Аудит эффективности по сравнению с традиционными финансовыми проверками имеет более сложную методологию проведения, требует достаточно больших трудовых затрат и времени. В последние годы аудит эффективности стал использоваться контрольно-счетными органами на уровне федерального центра. Для его внедрения в субъектах требуется ряд условий, в том числе соответствующая правовая база, разработка стандартов, переход организации бюджетного процесса на принципы бюджетирования, ориентированного на результат, выработка критериев, определяющих эффективность использования бюджетных средств.

Полагаем, для выхода из сложившейся ситуации необходимо:

– сформировать единую систему государственного финансового контроля и принять ФЗ «О государственном финансовом контроле», где определить формы, методы, виды, направления государственного финансового контроля, а также разграничить сферы ведения существующих контрольных органов;

– внести поправки в Бюджетный Кодекс РФ с целью конкретизации сущности целевого и нецелевого использования бюджетных средств;

– разработать единые для всех контрольных органов формы отчетности о финансовых нарушениях и причиняемом ущербе;

– разработать на субфедеральном уровне единые стандарты организации и проведения государственного финансового контроля, что позволит скоординировать деятельность органов исполнительной власти, а также сделать прозрачным процесс проведения контрольных мероприятий и для субъектов и для объектов финансового контроля.

– разработать методику проведения контроля по эффективности расходования бюджетных средств;

– разработать классификатор финансовых нарушений и санкций.

В значительной степени повышению эффективности государственного финансового контроля в регионе должно способствовать продолжение практики внедрения программных бюджетов, поскольку именно они позволяют направлять бюджетные средства на достижение общественно значимых результатов, что, в свою очередь, дает возможность осуществлять государственный финансовый контроль с точки зрения его эффективности.

Одним из важнейших направлений совершенствования системы государственного финансового контроля является автоматизация процесса контрольной деятельности, что позволит систематизировать результаты проверок по финансовым нарушениям, по распорядителям и получателям бюджетных средств и т.п.

Полагаем, что реализация данных мер послужит всестороннему развитию системы государственного финансового контроля в субъектах РФ.

Список литературы

1. Отчет о деятельности Контрольно-счетной палаты Ставропольского края за 2012 год [Электронный ресурс]. URL: http://kspstav.ru/content/godovye-otchety.

2. Отчет о деятельности Контрольно-счетной палаты Ставропольского края за 2013 год [Электронный ресурс]. URL: http://kspstav.ru/content/godovye-otchety.

3. Официальный сайт Российской Федерации в сети Интернет для размещения информации о размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг [Электронный ресурс]. URL: http:// zakupki.gov.ru.

4. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: http://gks.ru.

5. Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 41-ФЗ «О Счетной палате Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/70353474/#ixzz3RN8UGN4k.

References

1. *Otchet o dejatelnosti Kontrolno-schetnoj palaty Stavropolskogo kraja za 2012 god* [Report on the activities of the Accounts Chamber of the Stavropol Territory in 2012] URL: http://kspstav.ru/content/godovye-otchety.

2. *Otchet o dejatelnosti Kontrolno-schetnoj palaty Stavropolskogo kraja za 2013 god* [Report on the activities of the Accounts Chamber of the Stavropol Territory in 2013] URL: http://kspstav.ru/content/godovye-otchety.

3. *Oficialnyj sajt Rossijskoj Federacii v seti Internet dlja razmeshhenija informacii o razmeshhenii zakazov na postavki tovarov, vypolnenie rabot, okazanie uslug* [The official website of the Russian Federation on the Internet for posting information about placing orders for goods, works and services]. URL: http://zakupki.gov.ru.

4. *Oficialnyj sajt Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki* [The official website of the Federal State Statistics Service]. URL: http://gks.ru.

5. *Federalnyj zakon «O Schetnoj palate Rossijskoj Federacii» ot 5 aprelja 2013 g. no. 41-FZ* [Federal Law of April 5, 2013 no. 41-FZ «On the Accounts Chamber of the Russian Federation»]. URL: http://base.garant.ru/70353474/#ixzz3RN8UGN4k.

Рецензенты:

Алиева С.В., д.соц.н., заведующая кафедрой менеджмента, торгового дела и предпринимательства, Северо-Кавказский институт, филиал, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Пятигорск;

Татуев А.А., д.э.н., профессор кафедры экономики и управления, Северо-Кавказский институт, филиал, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Пятигорск.

УДК 331.5, 332.13

ИНОСТРАННАЯ РАБОЧАЯ СИЛА В ПРИМОРСКОМ КРАЕ: ФАКТОРЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Красова Е.В., Черепанова М.А.

ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, e-mail: elena_krasova@rambler.ru

Настоящая статья посвящена практическим аспектам привлечения иностранной рабочей силы в экономику Приморского края. Анализируя факторы привлечения иностранной рабочей силы, авторы исходят из необходимости составления баланса трудовых ресурсов региона и, соответственно, учета демографических и социально-экономических процессов, происходящих в крае. Авторами выделен ряд ключевых факторов, способствующих привлечению иностранной рабочей силы. Во-первых, это неблагоприятные тенденции формирования народонаселения и трудовых ресурсов Приморского края. Во-вторых, наличие структурного дефицита на рынке труда, когда имеющаяся свободная рабочая сила не соответствует заявленным от работодателей вакансиям по своему профессионально-квалификационному составу. Учитывая долгосрочные перспективы развития Дальневосточного региона и Приморского края в частности, авторы говорят о необходимости привлечения иностранной рабочей силы в условиях государственного регулирования миграционных процессов.

Ключевые слова: иностранная рабочая сила, международная трудовая миграция, трудовые ресурсы, воспроизводство трудовых ресурсов, региональная экономика

FOREIGN LABOR FORCE IN PRIMORSKIY REGION: MODERN FACTORS OF ATTRACTING

Krasova E.V., Cherepanova M.A.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: elena_krasova@rambler.ru

This article focuses on practical aspects of foreign labor attracting to economy of Primorsky Region. Analyzing the factors of foreign labor attracting, the authors base on necessity of the balance of labor resources in the region and, accordingly, on the demographic and socio-economic processes taking place in the region. The authors identify a number of key factors in attracting of foreign labor force. Firstly, this is unfavorable trends of population and labor resources formation in Primorsky Region. Secondly, this is a structural labor shortage when available free labor force does not meet the declared vacancies from employers in the field of their professional qualification structure. Accordingly the long-term perspectives of the Far Eastern region and Primorsky Region development, the authors talk about necessity to attract the foreign labor force in conditions of state regulation of migration processes.

Keywords: foreign labor force (workforce), international labor migration, labor resources, reproduction of labor force, regional economy

Иностранную рабочую силу (ИРС) можно определить как совокупность иностранных граждан, обеспечивающих предложение своей рабочей силы для производства товаров и услуг в данном регионе. С точки зрения региональной экономики ИРС рассматривается как элемент воспроизводства трудовых ресурсов региона [2, с. 285]. Органическая связь с процессами общественного воспроизводства позволяет рассматривать привлечение иностранной рабочей силы в качестве производного элемента как всей экономической системы региона и ее конкурентоспособностью [1, с. 72], так и непосредственно рынка труда. Соответственно, параметры процесса привлечения ИРС определяются двумя основными группами факторов:

1) тенденциями, ориентирами экономического развития региона;

2) производственно-экономическими и демографическими параметрами рынка труда (численностью экономически активного населения, его профессионально-квалификационной структурой, структурой по полу и возрасту, уровнем безработицы и т.п.).

Первая из указанных групп факторов условно отражает потребность экономики региона в ресурсах труда, вторая – предложение рабочей силы от местной рабочей силы.

Определение потребности региональной экономики в ИРС требует применения адекватных объекту исследования методов. Традиционные модели международной трудовой мобильности описывают типы миграционного поведения людей, рефлекторно реагирующих на различные факторы среды, поэтому малоприменимы для определения параметров рационального привлечения иностранной рабочей силы. Выявить наиболее правильные соотношения между спросом и предложением рабочей силы позволяет метод составления трудового баланса региона. Используя данный метод, можно определить величину возникающего

дисбаланса на рынке труда, который (в случае дефицита трудовых ресурсов) условно равен общему спросу на дополнительную рабочую силу. В этом случае

$$С_{рс} = П_{нрс} + С_{доп.рс},$$

где $С_{рс}$ – совокупный спрос на рабочую силу в регионе; $П_{нрс}$ – предложение местной рабочей силы; $С_{доп.рс}$ – спрос на дополнительную рабочую силу.

Поскольку ИРС – не единственный источник дополнительной рабочей силы, необходимо выделить степень приоритетности ее использования среди других источников. Потребность в ИРС выражается не только количественными показателями, но и структурными, поэтому параметры привлечения ИРС следует увязывать с тенденциями развития отдельных отраслей, районов освоения, промышленных зон. Качественный состав ИРС должен балансировать со структурой местных трудовых ресурсов.

Таким образом, привлечение ИРС должно быть увязано с социально-экономическими и демографическими процессами в регионе и тесно коррелировать с показателями использования природных, капитальных, трудовых и других элементов производственно-территориального комплекса. Рассмотрим эти процессы на примере Приморского края.

На протяжении 130 лет трудовые ресурсы края формировались преимущественно под воздействием миграции, которая осуществлялась благодаря политической и финансовой поддержке государства. Вследствие демографического кризиса, который выражается в низкой активности репродуктивного поведения граждан, регрессивной возрастной структуре населения, миграционном оттоке и, как следствие, общей убыли населения края, перед Приморским краем остро стоит проблема сокращения численности трудоспособного населения и, соответственно, возникновения дефицита трудовых ресурсов (табл. 1).

Таким образом, за прошедшее десятилетие численность края уменьшилась на 102,4 тыс. чел., из которых 58,5 тыс. чел., или 57,1 % – это трудоспособные граждане и те, кто проявляет экономическую активность в нетрудоспособных возрастах. При сохранении текущих тенденций в перспективе видится дальнейшее уменьшение числа трудоспособных граждан и трудовых ресурсов в целом.

В условиях хронического дефицита ресурсов труда во многих отраслях, особенно производственной сферы, наблюдается недостаток рабочей силы, который не может быть удовлетворен из собственных источников. На краевом рынке труда сохраняется дисбаланс спроса и предложения рабочей силы: на 30 декабря 2014 года потребность работодателей в работниках, заявленная в службу занятости, составила 57 935 человек, при этом в качестве безработных граждан, зарегистрированных в службе занятости, числилось 13 783 человека. Можно предположить, что Приморский край испытывает структурный дефицит рабочей силы в количестве 44 152 человек, и для работодателей самым быстрым и дешевым средством для восполнения дефицита труда представляется привлечение иностранной рабочей силой. Согласно поданным заявкам, в 2015 г. приморские работодатели планируют привлечь 42 166 единиц ИРС, что составляет 69,5 % от представленных вакансий [4].

Что касается качественных параметров рынка труда, то профессионально-квалификационный состав безработных граждан, состоящих на учете в отдельных районах и населенных пунктах края, в которые предполагается привлечение иностранной рабочей силы, не позволяет обеспечить требуемый квалификационный уровень по профессиям и специальностям, заявленны работодателями для привлечения иностранных работников (табл. 2).

Таким образом, даже при трудоустройстве всех безработных, имеющих соответствующий профессионально-квалификационный уровень, будет испытываться недостаток трудовых ресурсов.

Таблица 1

Динамика численности постоянного и трудоспособного населения в Приморском крае за период с 2004 по 2014 гг., тыс. чел. [6]

Показатель	2004	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014
Численность постоянного населения (на конец года)	2035,8	2005,9	1988,0	1953,5	1950,5	1947,3	1938,5	1933,4
Трудовые ресурсы	1391,4	1388,9	1382,0	1377,6	1368,2	1355,7	1334,9	1332,9

Таблица 2

Сопоставление имеющихся вакансий
и численности безработных соответствующей квалификации [4]

Виды экономической деятельности	Общее количество вакансий, заявленных работодателями	Безработные граждане соответствующей квалификации	Сальдо
– строительство	18 852	722	18 130
сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	8 569	1 191	7 378
– обрабатывающие производства	7 743	1 248	6 495
– оптовая и розничная торговля; ремонт и бытовые услуги	2 408	1 592	816
гостиницы и рестораны	991	265	726
транспорт и связь	1 192	1 019	173
– операции с недвижимостью	513	858	–345

Департаментом труда и социального развития Приморского края регулярно проводится мониторинг замещения иностранной рабочей силы российскими гражданами, организуется дополнительное профессиональное обучение безработных граждан на рабочие места, на которые предполагается привлечение иностранных работников. Профессии, по которым проводится обучение, определяются по результатам мониторинга спроса и предложения рабочей силы на рынке труда Приморского края. В 2014 году центрами занятости населения Приморского края на вакансии, заявленные работодателями, планирующими привлечение ИРС, направлено 3995 безработных и ищущих работу граждан, но из них трудоустроен только 31 человек (8%) [4].

Основными причинами нежелания российских граждан трудоустроиться на вакансии, по которым планируется привлечение ИРС, являются:

- низкий уровень оплаты труда, заявляемый в службу занятости населения работодателями, планирующими привлечение ИРС;
- нежелание российских граждан трудиться и переобучаться по ряду профессий из-за низкого качества рабочих мест (тяжелый физический или неквалифицированный труд, вредные и опасные условия труда, высокие риски профессиональных заболеваний);
- территориальное несоответствие заявленных вакансий и безработных, состоящих на учете.

При этом возможности территориального перераспределения рабочей силы невысоки, так как условия проживания и оплаты труда не привлекают безработных граждан к трудоустройству на другой территории.

Ряд ученых утверждают, что как раз применение ИРС снижает качество рабочих мест в ряде отраслей и саму оплату труда, в связи с чем с 15 января 2007 года усилилась административная ответственность за незаконное привлечение иностранной рабочей силы в Российской Федерации [5].

Численность ИРС и ее удельный вес в общей численности трудоспособного населения можно проследить по данным Федеральной миграционной службы. Согласно этим данным, количество легальных трудовых мигрантов, работающих в Приморском крае, до 2012 года имело тенденцию к росту (табл. 3).

Таблица 3

Динамика численности иностранной рабочей силы
в Приморском крае за период с 2004 по 2014 гг. [5]

Годы	Численность, чел.	Удельный вес в общей численности трудоспособного населения, %	Удельный вес в численности занятого населения, %
2004	17 781	1,28	1,80
2005	23 268	1,67	2,37
2006	37 900	2,72	3,87
2007	30 923	2,23	3,15
2008	32 575	2,35	3,33
2009	43 743	3,17	4,47
2010	41 734	3,03	4,26
2011	48 220	3,52	4,97
2012	48 523	3,58	4,96
2013	33 545	2,51	3,40
2014	35 087	2,63	3,59

Такая тенденция была вызвана созданием новых рабочих мест в организациях и предприятиях края, в том числе в рамках реализации крупных инвестиционных проектов и программ, основными из которых явились проекты по подготовке к саммиту АТЭС – 2012 (на 1 декабря 2011 года на строительстве объектов саммита было занято 26 271 человек, в том числе 8 549 жителей Приморского края). После 2012 года, по завершению «саммитовских строек», наплыв иностранных рабочих немного уменьшился, однако в 2013–2015 гг. снова показывает тенденцию к росту.

Основной причиной этого является возрастание потребности в рабочих руках. В соответствии с Федеральным законом о территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации [7], Дальний Восток является регионом, на территории которого формируются зоны опережающего развития. До 2020 года планируется реализовать 30 крупных инвестиционных проектов. Наибольшее количество рабочих мест будет создано в нефтегазохимическом кластере (5,4 тыс. рабочих мест), в транспортно-логистическом кластере (2,4 тыс.), судоремонте и судостроении (6,5 тыс.), энергопроизводстве (3,5 тыс.), в туристическом комплексе (до 30 тыс.). Реализация инвестиционных проектов позволит создать около 74 тыс. новых рабочих мест, что в свою очередь повлечет еще большую нехватку трудовых ресурсов.

Несмотря на это, в последнее время наблюдается тенденция снижения выделяемых квот на привлечение к трудовой деятельности иностранных граждан: в 2010 году квота на выдачу разрешений на работу иностранным гражданам на территории Приморского края составляла 35 840 человек, объем использования квоты составил 80,6 %, в 2011 году квота – 35 262, объем использования – 71,2 %, в 2012 году квота – 29 929, объем использования – 88,2 %, в 2013 год квота составила 27 172 разрешения, объем использования – 76 %, в 2014 году квота – 27 351, процент исчерпания квоты составил 72,3 %, в 2015 году планируется сокращение квоты на 16 808 человек по сравнению с 2010 годом [5].

Качественно меняется структура международных потоков трудовой миграции населения в результате повышения доли в общем числе мигрирующих специалистов с более высоким уровнем образования. Если в 2011 году УФМС России по Приморскому краю выдано 9 разрешений на работу высококвалифицированным специалистам, то в 2014 году уже было выдано 84 разрешения, что доказывает – Приморский край стремится выполнять одно из основных направлений концепции государственной миграционной политики России на период до 2025 года – создание условий и механизмов для привлечения востребованных экономикой высококвалифицированных и квалифицированных специалистов разного профиля. Такая позиция, безусловно, является важным источником накопления человеческого капитала, обеспечивающего экономический рост и благосостояние Приморья.

Таким образом, несмотря на снижение выделяемых квот на привлечение к трудовой деятельности иностранных граждан, рынок труда в Приморском крае на данный момент не способен обойтись без привлечения иностранной рабочей силы, так как, с одной стороны, происходит убыль в том числе трудоспособного населения, на территории Приморского края, а с другой стороны, потребность в количестве рабочих мест превышает количество состоящих на учете безработных граждан. Опыт зарубежных стран, проводящих активную миграционную политику, показывает, что миграционные процессы ускоряют социально-экономическое развитие и обеспечивают рост благосостояния населения. Без разумной миграционной политики, направленной на регулирование потоков мигрантов и привлечение в страну дополнительной рабочей силы, вряд ли удастся реализовать те масштабные инвестиционные проекты регионального развития, которые намечаются на перспективу.

Список литературы

1. Ворожбит О.Ю., Осипов В.А., Тонких А.И. Конкурентоспособность экономических систем: монография; М-во образования и науки Российской Федерации, Владивостокский гос. ун-т экономики и сервиса. – Владивосток, 2011. – 124 с.

2. Горбенкова Е.В. Привлечение иностранной рабочей силы на Дальний Восток России: подходы к проблеме и предпосылки развития // Проблемы современной экономики. – 2012. № 1. – С. 285–288.

3. Ивашина Н.В. Основные тенденции миграционных процессов в Приморском крае // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2014. – № 22. – С. 134–138.

4. Официальный сайт Департамента труда и социального развития Приморского края. Показатели государственной статистической отчетности. Режим доступа: http://zanprim.regiontrud.ru/home/trudzan/static.aspx.

5. Официальный сайт Управления Федеральной миграционной службы России по Приморскому краю. Официальная статистика. – Режим доступа: http://www.fmspk.ru.

6. Труд и занятость населения в Приморском крае. Федеральная служба государственной статистики по Приморскому краю. 2014. – 100 с.

7. Федеральный закон «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации». Принят Государственной Думой 23 декабря 2014 года и одобрен Советом Федерации 25 декабря 2014 года. Официальный сайт Кремля. – Режим доступа: http://kremlin.ru/acts/news/47349.

References

1. Vorozhbit O.Y., Osipov V.A., Tonkih A.I. *Konkurentosposobnost ekonomicheskih system* [Competitiveness of economic system]. Vladivostok, Vladivostok State University of Economics and Service, 2011. 124 p.

2. Gorbenkova E.V. [Attracting of foreign labor force to Far East of Russia: approaches to the problem and background]. Problemy sovremennoy ekonomiki (Problems of Modern Economics). 2012. no. 1. pp. 285–288.

3. Ivashina N.V. [The main trends of migration processes in the Primorsky Region]. Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii (Strategy of Sustainable Development of Russian Regions). 2014. no. 22. pp. 134–138.

4. Ofitsialnyy sayt Departamenta truda i sotsialnogo razvitiya Primorskogo kraya. Pokazateli gosudarstvennoy statisticheskoy otchetnosti [The official website of the Department of Labour and Social Development of Primorsky Region. Indicators of state statistical report] http://zanprim.regiontrud.ru/home/trudzan/static.aspx.

5. Ofitsialnyy sayt Upravleniya Federalnoy migratsionnoy sluzhby Rossii po Primorskomu krayu. Ofitsialnaya statistika [The official website of the Federal Migration Service of Russia in Primorsky Region. Official statistics] http://www.fmspk.ru.

6. Trud i zanyatost naseleniya v Primorskom krae. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki po Primorskomu krayu [Labor and employment in Primorsky Region. Federal State Statistics Service of Primorsky Region]. 2014. 100 p.

7. Federalnyy zakon ot 25 dekabrya 2014 «O territoriyakh operezhayushchego sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii» [Federal Law «About the Territories of Advancing Social and Economic Development in Russian Federation». December 25, 2014]http://kremlin.ru/acts/news/47349.

Рецензенты:

Ворожбит О.Ю., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой международного бизнеса и финансов, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток;

Осипов В.А., д.э.н., профессор кафедры международного бизнеса и финансов, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток.

УДК 338.484.2

О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНИВАНИЯ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РАЗМЫТОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ УСЛУГ

Розанова Л.Н., Веслогузова М.В., Петрик Л.С., Ибатуллова Ю.Т.

ФГБОУ ВПО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», Казань, e-mail: petrikls@mail.ru

В данной статье характеризуются территориальные социо-эколого-экономические системы, раскрываются сущность и источники размытости социо-эколого-экономических процессов и объектов в сфере услуг, а также подходы к их оценке. Целью исследования является выявление природы социо-эколого-экономических систем, раскрытие характера, динамики, уровня подвижности, алгоритмов взаимодействия, состояния неопределённости и размытости социо-эколого-экономических процессов и объектов сферы услуг. Для достижения этой цели мы опирались на метод расплывчатых множеств и алгоритмов Л. Заде, основанный на понятии функции принадлежности $\mu(x)$, которая характеризует степень связанности элемента «x» с конкретным расплывчатым множеством. При этом мы исходили из того, что задачи принятия решений в ситуации неопределенности (в том числе задачи оценивания) в принципе не могут быть сведены к строго составленным математическим задачам. Для этого необходимо устранить или ослабить неопределенность, вводя те или иные гипотезы, например, в виде функции принадлежности размытого множества или размытого отношения. При оценивании территорий это означает, что эта процедура не может иметь характера полностью формально-логического алгоритма, а должна опираться в значительной мере на логико-содержательные подходы и приемы анализа. В своём анализе мы обращались к неформальному и полуформальному исследовательскому аппарату, основу которого составили системный и коммуникативно-синергетические методы, а также методы теории экспертных оценок, теории размытых множеств и теории принятия компромиссных решений, что позволило нам получить следующие результаты: сформулировать определение социо-эколого-экономических систем, подходы к оцениванию этих систем в рамках теории расплывчатых множеств и теории принятия компромиссных решений, алгоритм оценивания социо-эколого-экономических систем.

Ключевые слова: социо-эколого-экономические системы, размытость информации, оценка социо-эколого-экономических систем

ON THE PROBLEM OF ESTIMATING THE SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS IN TERMS OF THE BLURRING OF THE ORIGINAL INFORMATION IN THE SERVICE INDUSTRY

Rozanova L.N., Vesloguzova M.V., Petrik L.S., Ibatullova Y.T.

Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, e-mail: petrikls@mail.ru

This article characterized the territorial socio-ecological-economic system, reveals the essence and sources of blurring of socio-ecological-economic processes and objects in the service sector, as well as approaches to their evaluation. The aim of the study is to reveal the nature of socio-ecological-economic systems, the disclosure of the nature, dynamics, level of mobility, interaction algorithms, the state of uncertainty and fuzziness of socio-ecological-economic processes and facilities. To achieve this goal, we relied on the method of vague sets and algorithms L. Zadeh, based on the concept of the membership function $\mu(x)$, which characterizes the degree of dependence of element «x» with specific vague set. In this case, we assumed that the task of decision making in situations of uncertainty (including assessment tasks) in principle cannot be reduced to a strictly mathematical tasks. For this it is necessary to eliminate or reduce the uncertainty by introducing certain hypotheses, for example, in the form of the membership function is smeared or blurred relationship. When assessing areas this means that this procedure may not have the character fully formal logical algorithm, and must rely heavily on logico-meaningful approaches and techniques of analysis. In his analysis, we turned to informal and semi-formal research unit, which amounted to, and communication system-synergistic methods and theory methods of expert estimates, the theory of fuzzy sets and the theory of compromise, which allowed us to obtain the following results: to formulate a definition of socio-ecological-economic systems, approaches to the assessment of these systems in the framework of the theory of vague sets and the theory of compromise, an algorithm for estimating the socio-ecological-economic systems.

Keywords: socio-ecological-economic system, the vagueness of information, assessment of socio-ecological-economic systems

Наличие на различных территориях природных, социальных, экономических, экологических и других ресурсов и связей между ними позволяет нам ставить вопрос о системности, коммуникации и синергии этих образований. Любая система может быть рассмотрена как элемент системы более высокого порядка, в то время как ее элементы могут выступать в качестве системы более низкого порядка. Иерархичность, многоуровневость характеризует строение, морфологию системы и ее поведение, функционирование: отдельные уровни системы обусловливают определенные аспекты ее поведения, а целостное функционирование оказывается результатом взаимодействия всех ее сторон, уровней.

Под территориальными социально-экономическими системами (ТСЭС) понимается взаимосвязанное сочетание элементов природного, производственного, демографического, социального и институционального характера, целенаправленно функционирующих на определенной территории. Территориальные социально-экономические системы интегрального характера бывают разных масштабов. Исходя из этого, комплексные территориальные исследования подразделяются на крупно-, средне- и мелкомасштабные.

ТСЭС – это пространственные ячейки жизни общества, в которых осуществляется повседневная деятельность людей, удовлетворяются их потребности в труде, отдыхе, материальных и духовных благах, общении, формируется всесторонне развитая личность. Под ТСЭС понимаются экономически, экологически и социально эффективные сочетания элементов общества, включенные в региональные процессы общественного воспроизводства, развивающиеся на определенной территорий как звенья географического разделения и интеграции труда. ТСЭС – это динамические, открытые, сложные, многоуровневые системы. Они находятся в постоянном движении – функционировании и развитии.

В составе ТСЭС можно выделить следующие подсистемы: производственную, населения и его расселения, социальную, природно-ресурсную, рекреационную, производственно-инфраструктурную, социально-ифраструктурную. Между ними сформировались многочисленные экономические, социальные, информационные и другие виды связей. В процессе целесообразной деятельности населения и проявления этих связей формируются органически целостные интегрированные системы, свойства которых не аддитивны сумме свойств составляющих их подсистем. Каждая из них, обладая чертами относительной самостоятельности, часто является предметом исследования, прогнозирования и планирования. Но при этом всегда нужно иметь в виду, что их разносторонняя жизнедеятельность и полная реализация внутренних потенций возможны лишь при интеграции и диалектическом единстве этих систем. Поэтому особенно актуальными являются комплексные исследования и комплексное общественно-географическое прогнозирование.

Основными источниками развития ТСЭС являются противоречия. Важнейшими побудительными силами и источниками развития ТСЭС являются их внутренняя неоднородность, разноуровневость и противоречивость. Пространственно-временное сочетание в системах всех сфер жизнедеятельности людей, функционально-структурных подсистем, разнокачественных процессов и сложных структурных образований создает необходимые условия для возникновения внутренних противоречий в составе целостных ТСЭС.

По степени влияния на функционирование и развитие ТСЭС все внутренние **п**ротиворечия можно разделить на три группы:

1. Противоречия между производительными силами и производственными отношениями.

2. Противоречия между региональными и локальными воспроизводственными процессами, распределительными и обменными отношениями и др.

3. Противоречия как следствие различий в динамике функционирования и пространственной организации подсистем.

В развитии ТСЭС важную роль играют и другие внутренние противоречия, в первую очередь противоречия между сопряженными функционально-структурными подсистемами. Эти противоречия обусловлены разноуровневостью подсистем, различной динамикой и ритмами функционирования, спецификой связей территориальной организации элементов. Они усугубляются наличием разноведомственной принадлежности, несогласованных между собой частных прогнозов и планов развития, субъективностью подходов с позиции достижения частных оптимумов.

Наряду с единством в составе ТСЭС природного и социального между ними имеются существенные различия и определенные противоречия. Противоречия заключаются в наличии природной субстанциальной основы и общественных отношений к ней, в разных пространственно-временных ритмах функционирования природных и социальных компонентов. В процессе функционирования ТСЭС их природно-ресурсная основа постепенно истощается, особенно со стороны невозобновимых ресурсов, и в то же время заполняется предметами техногенного и антропогенного содержания. В развитии систем наступает период усложнений экологической ситуации и дефицита собственных природных ресурсов, что часто ведет к смене структуры и функций ТСЭС. Противоречия как следствие различий в динамике функционирования и пространственной организации подсистем различаются по степени их динамичности.

Наиболее динамичными являются производственная подсистема и производственная инфраструктура. В своем развитии и пространственной организации они подчиняются цели и стратегии развития

целостной ТСЭС и в то же время выступают инициаторами прогрессивных изменений в функционировании и размещении менее подвижных, более инерционных подсистем – расселения населения, рекреационной, социально-инфраструктурной и др. Это явление необходимо учитывать при разработке всех видов экономико-географических прогнозов.

Особая группа противоречий между подсистемами возникает в процессе пространственной организации их в составе ТСЭС. Усиление пространственной концентрации и интеграции жизни общества способствует экономии земельных площадей, снижению времени и транспортных расходов на перевозку людей и грузов, повышению эффективности развития хозяйства и т.д. Противоречия этой группы тесно переплетаются с противоречиями концентрации и рассеивания, стягивания и диффузии, агломерирования и деагломерирования и т.д.

Такое положение должно обусловливать приоритет экологического подхода в науке. Он позволяет рассматривать территорию как сложное социо-эколого-экономическое образование. Под эколого-экономической системой понимается часть территории, на которой интенсивность связей между элементами природы и хозяйства значительно превышают интенсивность связей, направленных извне и вовне системы, или же саму совокупность этих элементов.

Включив в данное понятие элементы демографического, социального и институционального характера и разнообразные связи между ними на конкретной территории, можно говорить о территориальных социо-эколого-экономических системах (ТСЭЭС).

Оценка территории с определенных позиций и в соответствии с поставленной целью является одной из важнейших задач современной науки и во многом определяет ее конструктивный потенциал.

Размытость социально-экономических объектов, явлений и процессов очень часто проистекает из тех их характеристик, которые с трудом поддаются (или совсем не поддаются) количественному выражению либо по каким-то причинам не могут быть измерены с удовлетворительной точностью.

Во многих случаях цели и ограничения не могут быть сформулированы в количественной форме. Эти формулировки носят нечеткий, расплывчатый характер. К подобным формулировкам могут быть отнесены: размытая цель – «*x* должно быть существенно больше a», размытое ограничение – «*y* должно быть приблизительно в диапазоне от a до b». При формализации расплывчатых понятий (типа «большой», «приблизительно») и расплывчатых предписаний используются положения предложенной Л. Заде теории расплывчатых множеств и алгоритмов.

Основным в этой теории является понятие функции принадлежности $\mu(x)$, которая характеризует степень принадлежности элемента x конкретному расплывчатому множеству. Задачи принятия решений в ситуации неопределенности (в том числе задачи оценивания) в принципе не могут быть сведены к строго составленным математическим задачам – для этого необходимо каким-либо образом устранить неопределенность, вводя те или иные гипотезы, например в виде функции принадлежности размытого множества или размытого отношения [4, с. 45].

Размытость географических объектов, явлений и процессов очень часто проистекает из тех их характеристик, которые с трудом поддаются (или совсем не поддаются) количественному выражению либо по каким-то причинам не могут быть измерены с удовлетворительной точностью. Результат в обоих случаях одинаков – та или иная степень неопределенности в условиях решаемой задачи.

В то же время эти характеристики, как правило, достаточно хорошо сравнимы на порядковой шкале измерений. Это означает, что относительно каждой пары географических объектов – носителей какого-либо качества практически всегда можно указать, какой именно из них обладает данным качеством в большей мере или же признать, что объекты в этом смысле равноценны.

Таким образом, на множестве однородных географических объектов может быть задано отношение предпочтения практически по любому признаку из числа тех, которыми эти объекты обладают; другими словами, объекты могут быть упорядочены.

Для полноты формулы оценивания необходимо также указание конкретных условий, в которых происходит взаимодействие объекта и субъекта оценивания – географических, политических и других, т.е. оценка в любом случае должна быть пространственно и исторически относительной, так как только в этом случае становится возможной ее правильная интерпретация и квалифицированное использование, а также возможное разногласие мнений экспертов.

В качестве меры согласованности экспертов принимается усредненная по критериям величина рассеяния коэффициентов $D_{(i,j)\text{ср}}$, подсчитанных на основании информации, полученной от отдельных экспертов, т.е. дисперсия, усредненная по n критериям:

$$D_{(i,j)\text{ср}} = D_{(i,j)}/n.$$

Лучшим следует признать метод, обеспечивающий наименьшую дисперсию. Таким образом, все рассматриваемые методы упорядочиваются, кроме того, при сравнении методов принимается во внимание требуемое время общения с экспертами.

Исходя из конкретных условий территории и содержательного (неформального) анализа этих условий, а также из требуемой точности и возможностей субъектов оценивания, территория разбивается на свои составляющие – операционно-территориальные единицы. Они представляют собой элементарную территориальную ячейку, соответствующую нижнему пределу делимости в данном конкретном случае. Разбиение может соответствовать существующему административно-территориальному устройству территории, что, в частности, значительно упрощает формирование исходной информации и ее использование.

Число выделенных операционно-территориальных единиц (ОТЕ) обозначим через n, а множество всех выделенных ОТЕ – через A.

$$A = \{A_k, k = 1, n\}.$$

Для каждого из отобранных в п. 2 факторов множество выделенных ОТЕ A упорядочивается в соответствии со степенью обладания операционно-территориальными единицами свойством, описываемым этим фактором. В результате на множестве А будет определено m однофакторных упорядочений, каждое из которых описывает территориальное распределение какого-либо из существенных факторов, формирующих искомую оценку. Обозначим через V_{ki} ранг (место) k-й ОТЕ в упорядочении по i-му признаку ($k = 1, n$, $i = 1, m$). Полученную исходную информацию можно задать в виде таблицы.

Для всех факторов $i = 1, m$ строятся матрицы парных сравнений:

$$B_i = b_{ikj}\ n{\cdot}n,$$

где 1, если $r_{ki} > r_{ji}$;

$b_{ikj} = 0$, если $r_{ki} > r_{ji}$;

–1, если $r_{ki} > r_{ji}$.

Матрицы B_i обладают свойством антисимметричности, т.е. $b_{ikj} = -b_{ijk}$ для всех $i = 1, m$ и $j, k = 1, n$, поэтому достаточно вычислить лишь элементы, расположенные выше главной диагонали.

Далее территория рассматриваемая как совокупность ОТЕ, исследуется с точки зрения взаимного соответствия пространственного распределения учитываемых факторов. В случае, когда это соответствие значительно, т.е. факторы в значительной мере действуют однонаправленно, можно ожидать выраженной дифференциации значений искомой оценки по территории. В противном случае такой анализ позволит выявить те из факторов, которые способствуют нивелированию территориальных различий в значениях оценки, т.е. решается вопрос о том, реально ли получение решения достаточно высокого качества.

На следующем этапе строится матрица согласованности факторов и вычисляются обобщенные коэффициенты для всех факторов. Определяется многофакторное (результирующее) упорядочение множества A на основе частных, т.е. однофакторных упорядочений. Результирующее упорядочение определяется в виде компромиссного и учитывает влияние всех факторов в соответствии с их относительной значимостью. Определяются значения меры близости компромиссного и каждого из однофакторных упорядочений. Для каждой ОТЕ определяется мера «качества» этой ОТЕ с позиций достигнутого компромисса и отражающая ее место в совокупности значений искомой оценки. Полученный вектор и являет собой искомую оценку, описывая территориальное распределение значений оценки, или, что то же самое, – дифференциацию оценки в пределах рассматриваемой территории.

Таковы основы теории принятия компромиссных решений применительно к проблеме оценивания территории. Трактуя взаимодействие в геосистемах как взаимодействие и столкновение несовпадающих интересов отдельных элементов, подсистем и иерархических уровней, она представляет новые возможности для содержательного анализа, столь важного в эколого-географических исследованиях, так как выявление, описание и согласование интересов со всей очевидностью связано с изучением движущих сил и мотивов, вызывающих взаимодействие, и целей, преследуемых каждым субъектом – носителем интересов.

Таким образом, наиболее существенным при этом является то, что предлагаемый подход позволяет с общих позиций рассматривать многие эколого-географические процессы и явления, обусловленные существованием тех или иных противоречий (в самом широком смысле этого слова) между географическими объектами любой природы и в соответствии с этим наметить единый подход к решению многих эколого-географических проблем.

Список литературы

1. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. – М.: Наука, 1991. – 176 с.

2. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер анализа // Классификация и кластер. – М.: Мир, 1980. – С. 208.

3. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / В.А. Владимиров, Ю.Л. Воробьев и др. – М.: Наука, 2009 – 431 с.

4. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / пер. с англ. Ю.А. Данилова. – М.: Мир,1985. – 419 с.

5. Хузеев Р.Г. Теория принятия компромиссных решений: географические аспекты. – Казань, 1987. – 154 с.

References

1. Vernadsky V.I. *Nauchnaya mysl kak planetnoe yavlenie* [Scientific thought as a planetary phenomenon]. M.: Nauka, 1991. 176 p.

2. Zadeh L.A. *Razmytye mnozhestva i ikh primenenie v raspoznavanii obrazov i klaster analiza* [Fuzzy sets and their application in pattern recognition and cluster analysis Classification and clustering]. M.: Mir, 1980. pp. 208.

3. *Upravlenie riskom. Risk. Ustoichivoe razvitie. Sinergetika.* [The management of risk. Risk. Sustainable development. Synergetics]. V.A. Vladimirov, Y.L. Vorobyov and others M: Nauka, 2009 431 p.

4. *Sinergetika*: Ierarkhiya neustoichivostei v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroistvakh [Haken, Synergetics: Hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices], Ed. angl. Yu. A. Danilov. M.: Mir, 1985. 419 p.

5. Husiev R.G. *Teoriya prinyatiya kompromissnykh reshenii: geograficheskie aspekty.* [Theory of compromise: geographical aspects]. Kazan, 1987. 154 p.

Рецензенты:

Рубцов В.А., д.г.н., профессор, заведующий кафедрой сервиса и туризма, ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань;

Павлова А.В., д.э.н., профессор кафедры сервиса и туризма, ФГБОУ ВПО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», г. Казань.

УДК 336.71-026.16(470)

ФОНДИРОВАНИЕ РОССИЙСКИХ БАНКОВ В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ

Стихиляс И.В., Теряева А.С.

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: popova.gg@dvfu.ru

Настоящая статья посвящена исследованию текущего состояния банковского сектора в условиях макроэкономической нестабильности. Анализируются риски и чувствительность современного российского банковского сектора к воздействию экономических санкций, дается прогноз его устойчивости. Рассматривается современное состояние банковского сектора, источников его фондирования и уровень ликвидности, а также проблемы после введения санкций для российских банков к структуре кредитного портфеля. Затрагивается вопрос, касающийся кредитной зависимости от компаний из санкционного списка, что заставляет российские банки вносить коррективы в свои кредитные стратегии, чтобы соответствовать запросам международных инвесторов. Даются краткосрочный, а также средне- и долгосрочный прогнозы. Предлагаются меры по нейтрализации и уменьшению негативных последствий санкционного давления на российский банковский сектор.

Ключевые слова: банк, банковский сектор, санкции, фондирование, ликвидность, рефинансирование Банка России, синдицированные кредиты, стресс-тестирование

FUNDING OF RUSSIAN BANKS IN THE CONTEXT OF THE SANCTIONS PRESSURE

Stikhilyas I.V., Teryaeva A.S.

Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: popova.gg@dvfu.ru

This article is devoted to investigation of current standing of the banking sector in the conditions of macroeconomic instability. Analyze the risks and the sensitivity of modern Russian banking sector to the effects of economic sanctions, given the forecast of its sustainability. The current state of the banking sector, its sources of funding and liquidity, as well as the problems after the imposition of sanctions for Russian banks to the loan portfolio. Address issues relating to credit, depending on the companies from the sanctions list, what makes Russian banks to make adjustments to its credit strategies to meet the needs of international investors. Given the short-term as well as medium- and long-term forecasts. It proposes measures to neutralize and reduce the negative effects of sanctions pressure on the Russian banking sector.

Keywords: Bank, banking, sanctions, funding, liquidity, refinancing of Bank of Russia, syndicated loans, stress testing

Известно, что экономика страны и банковская система тесно взаимосвязаны. С одной стороны, стабильность банковского сектора играет ключевую роль в обеспечении эффективного распределения финансовых ресурсов, усилении экономического роста и нормальном функционировании и развитии экономики. С другой стороны, макроэкономическая среда оказывает существенное влияние на состояние и стабильность банковского сектора.

В настоящее время, в период экономических санкций, от состояния банков и их устойчивости во многом зависит, насколько быстро и с какими потерями страна преодолеет воздействие макроэкономического шока [1].

Согласно данным официального журнала Европейского Союза 31 июля 2014 г. ЕС был введен пакет секторальных санкций против аффилированных с государством банков, таких как ОАО «Газпромбанк», ОАО «Сбербанк России», ОАО «Банк ВТБ», ОАО «Россельхозбанк» и Государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)» [3]. Роль этих санкций заключается в ограничении доступа крупнейших российских банков к европейскому и американскому финансовому рынку. Кредитные организации, попавшие под санкции, на тот момент отреагировали очень спокойно и заявили о том, что они в состоянии справиться с данной проблемой и продолжат работать в штатном режиме.

Однако дальнейшее развитие ситуации показало, что санкции для банковского сектора означают отключение всех внешних источников фондирования. Так в начале 2015 г. ведущие международные рейтинговые агентства понизили для многих российских банков долгосрочные кредитные рейтинги в иностранной валюте до «мусорного» уровня BB+, BBB–, прогноз «Негативный» (Агентства «Standard & Poors» и «Fitch Ratings») и до уровня Ba1, Ba2, прогноз «Негативный» (Агентство «Moody's»), что для потенциальных иностранных инвесторов является сигналом для полного отказа от работы с российскими банками. И, несмотря на попытки переориентации на

азиатский рынок, в современных условиях банковский сектор может рассчитывать только на внутренние источники фондирования.

Также необходимо отметить, что объемы, качество и срок привлечения внутренних источников фондирования подвержены влиянию экономической ситуации в стране. В условиях макроэкономической нестабильности остро встает вопрос о доверии вкладчиков к банковской системе, уменьшаются возможности и емкость межбанковского рынка кредитов, банки несут потери, связанные с невозвратом выданных кредитов.

В периоды острых кризисов Банк России, выполняя роль «кредитора последней инстанции», берет на себя основную нагрузку по обеспечению ликвидности банковского сектора, увеличивая объемы и сроки кредитования, расширяя список активов, принимаемых в обеспечение, вводя новые виды кредитов для коммерческих банков, расширяя возможности для рефинансирования существующей задолженности, что позволяет избежать острых негативных последствий для всей экономики страны.

Закрытые внешние рынки, отток клиентов и спрос на кредиты, в том числе для рефинансирования долга, существенно увеличили зависимость банковского сектора от государства. Основным источником фондирования банков в 2014 году стал Центральный банк РФ (табл. 1).

Согласно данным табл. 1, рост объемов кредитования Банком России банковского сектора наблюдается по всем видам предоставляемых кредитов. Но особенно значительным является увеличение выданных кредитов, обеспеченных активами или поручительствами. Показатель 12,1 трлн руб. в 2014 г. против 1,9 трлн руб. в 2013 г. и 2,4 трлн руб. в кризисном 2009 г. свидетельствует о повышении роли Банка России как гаранта стабильности развития банковского сектора, так как именно данная группа кредитов становится для банков источником рефинансирования средне- и долгосрочных иностранных займов в условиях санкционного давления.

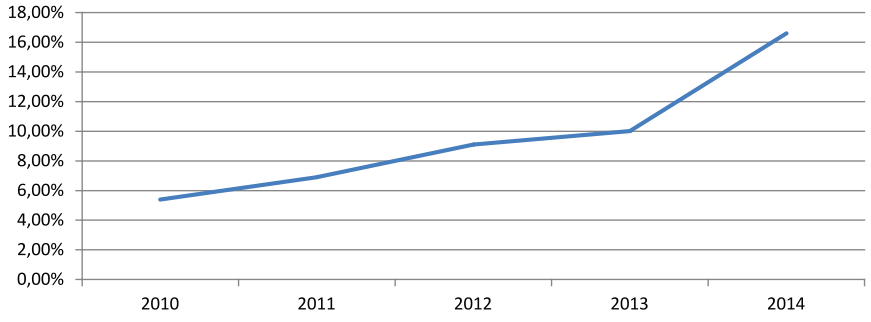
Увеличение объемов предоставленных Банком России кредитов коммерческим банкам отразилось на структуре пассивов банковской системы. Нехватку высоколиквидных ресурсов и роль Банка России в поддержании ликвидности подтверждают данные о динамике доли задолженности коммерческих банков перед Банком России (рисунок).

Таблица 1

Объемы предоставленных Банком России кредитов за 2007–2014 гг., млн руб.

Год	Объем внутридневных кредитов	Объем кредитов овернайт	Объем ломбардных кредитов	Объем кредитов, обеспеченных активами или поручительствами	Объем кредитов, обеспеченных золотом	Итого
2007	13499628	13327	24155	32765	–	13689823
2008	17324353	230236	212678	445526	–	18212793
2009	22832688	311424	308849	2419365	–	25872324
2010	28359580	229940	74993	334557	–	28999069
2011	38189241	208961	112743	431311	19	38942274
2012	52673667	172284	211227	1520369	2150	54579697
2013	57773132	146483	224890	1904104	2113	60050722
2014	60742863	203873	113256	12144805	2807	73207605

Источник: [6].



Динамика средней доли задолженности Банку России в пассивах коммерческих банков, 2010–2014 гг. Источник: [6]

При этом Банк России предоставляет кредиты в основном крупнейшим банкам, поэтому данный график относится, прежде всего к этому сектору банковской системы.

Известно, что источником средств для банков, помимо основного фондирования, предоставляемого Банком России, являются депозиты Министерства финансов Российской Федерации и других государственных структур, но в значительно меньшем объеме.

С 2014 года российским банкам приходилось работать в неблагоприятной операционной среде: темпы роста экономики замедлялись, что привело к ослаблению способности заемщиков погашать свои долговые обязательства и к снижению темпов роста кредитных портфелей. Кроме того, для небольших банков повысились риски, связанные с фондированием, а волатильность на валютном рынке, сопровождающая тенденцией обесценивания национальной валюты, усиливала неопределенность в отношении деятельности для всех финансовых институтов, в том числе кредитных организаций, что вело к росту цен на активы, повышению инфляции и процентных ставок, снижению рентабельности капитала (табл. 2).

Прогнозируется замедление роста кредитных портфелей банков. Ограничение спроса на кредиты со стороны корпоративных заемщиков и некоторое снижение показателей в розничном сегменте обусловлено как мерами, направленными на снижение готовности банков выдавать необеспеченные потребительские кредиты, так и повышением стоимости заемных средств. Есть предположение, что к середине 2015 г. рост в сегменте розничного кредитования замедлится до 20–25 %.

Вместе с тем российский банковский сектор и особенно крупные универсальные банки, доминирующие на рынке, имеют хорошие возможности для противостояния этим неблагоприятным условиям. Уровень дисбалансов в российской банковской системе значительно ниже, чем во время банковского кризиса 2008–2009 гг., а регулирование банковской деятельности стало более жестким. К тому же рейтинги российских банков уже учитывают риски, присущие российской экономике, в частности высокий кредитный риск, цикличность и агрессивную практику кредитования [2].

Что касается прогнозов на средне- и долгосрочную перспективы, то они основаны на заявлениях экспертов, в частности директора департамента финансовой стабильности Банка России Сергея Моисеева, который заявил: «Российским банкам и компаниям в условиях санкций хватит валютной ликвидности на год-полтора», ссылаясь на проведенные недавно регулятором стресс-тесты банковского сектора [5].

Таблица 2

Основные показатели российского банковского сектора за 2010–2014 гг.

Показатель	01.01.11	01.01.12	01.01.13	01.01.14	01.01.15
Активы банковского сектора, млрд руб.	33805	41628	49510	57423	77653
Кредитный портфель банковского сектора, млрд руб.	22167	28737	33993	40535	52116
Корпоративные кредиты, млрд руб.	14063	17715	19971	22499	29536
Розничные кредиты, млрд руб.	4085	5551	7737	9957	11329
Вновь созданные резервы на потери по кредитам / кредиты (брутто), %	1,11	0,43	0,65	1,73	2,1
Обязательства в иностранной валюте / совокупные обязательства, %	22,7	21,5	20,9	21,1	20
Розничные депозиты, млрд руб.	9818	11871	14251	16958	18552
Розничные кредиты / розничные депозиты, %	41,61	46,76	54,29	58,72	61,06
Рентабельность капитала, %	11,46	18,2	16,5	15	14
Чистая процентная маржа, %	5,4	5,3	4,9	4,7	4,3
Операционные расходы / непроцентные доходы, %	50,2	50,1	50,6	50	50

Источник: [6].

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что на начало 2015 года сохранялась тенденция устойчивого развития банковской системы последних лет по большинству показателей. Нельзя не отметить самый низкий за пять лет показатель доли обязательств в иностранной валюте в общей величине обязательств, который по итогам 2015 года по прогнозам будет еще ниже.

Также по утверждению С. Моисеева, уже в среднесрочной перспективе банковский сектор будет испытывать трудности, а значит, ставится под сомнение его способность в должной степени финансировать экономику страны [5].

Анализируя данную ситуацию, необходимо отметить, что в современных условиях только лишь внутренними источниками банковский сектор не ограничится, придется искать деньги на азиатских рынках и рынках стран БРИКС (Brazil, Russia, India, China, SouthAfrica). Все это значительно ухудшит условия заимствования, произойдет увеличение ставок по кредитам и удорожание денег. К тому же налаживание новых контактов – процесс долгий и трудоемкий, российские банки не смогут своевременно получить необходимые суммы, а это в свою очередь приведет к падению темпов кредитования и отразится на устойчивости банковской системы.

Таким образом, можно сделать вывод, что в среднесрочной перспективе экономические санкции могут привести к ухудшению условий и объемов кредитования российских банков, а впоследствии, замедлению темпов роста экономики.

Согласно прогнозам ведущих экономистов, в долгосрочной перспективе последствия санкций будут еще более негативными. Дефицит ликвидности и фондирования в банковском секторе приведет к остановке экономического роста России или даже к спаду, также неизбежны банкротства и сворачивание бизнес-проектов. Неизбежным может стать снижение доверия инвесторов к российскому рынку, увеличение оттока капитала и, как следствие, падение рейтинга России. Однако стоит отметить, что уже в ближайшее время банки смогут выдавать синдицированные кредиты российским компаниям. Обычно это необходимо для очень крупных и дорогих проектов. Разрабатывается документ, который является первым в своем роде в России и устанавливает единые правила для синдицированных займов на внутреннем рынке. Прежде всего, это позволит банкам и самим компаниям реструктурировать свои кредиты, многие из которых ранее были получены в Европе или США [4].

Кроме того, новые разработанные стандарты и договоры должны позволить банкам получать финансирование в Банке России под залог синдицированных кредитов. При этом, если стандарты будут приняты большинством участников рынка, это дает толчок для роста кредитования небольшими локальными банками, которые могли бы присоединиться к подобным сделкам. Ранее на этом рынке доминировали международные кредиторы и российские государственные банки.

В целом подобный подход должен поддержать российский банковский сектор. Если же ситуация в корпоративном кредитовании заметно улучшится, может начаться улучшение условий по потребительским кредитам. Стоит отметить, что необходимое финансирование получат важные российские проекты, включая нефтегазовые, что означает снижение зависимости от иностранного рынка капитала. С другой стороны, полностью справиться с падением ликвидности из-за санкций мало вероятно, поэтому действия банков не отменяют необходимости прекращения режима санкций.

Исходя из вышеизложенных фактов, можно выделить следующие меры по нейтрализации и уменьшению негативных последствий санкционного давления на банковский сектор России. В первую очередь необходимо усилить требования регулятора к достаточности капитала и увеличению резервов банка. Во-вторых, ужесточить требования к получению банковской лицензии с целью недопуска на рынок недобросовестных собственников. В-третьих, использовать стресс-тестирования состояния банков с целью моделирования развития экономической ситуации на базе различных сценарных прогнозов и оценки возможных рисков, а также усилить роль Банка России в качестве «кредитора последней инстанции» для поддержания ликвидности банковской системы и предоставления кредитов для рефинансирования задолженности перед иностранными банками.

Немаловажную роль играет интенсификация выхода российских банков на азиатский межбанковский кредитный рынок для перекредитования внешних долгов, если до 2016 г. санкции не будут отменены или смягчены. Также необходимо создать условия для использования как одного из основных внутренних источников фондирования банковской прибыли; сформировать экономическую заинтересованность российских и иностранных инвесторов для вложения средств в банковский капитал.

Перечисленные выше меры ожидаемо находятся в зоне действия внутренних факторов, так как большинство прогнозов не рассматривают возможности в ближайшие 1–1,5 года смягчения санкционного давления, выход на новые иностранные

рынки межбанковского кредитования ограничен сроками и стоимостью заимствования. Основной ресурс капитализации банковского сектора лежит внутри страны. При этом потенциал развития отечественной банковской системы в условиях временной изоляции достаточно высок, что позволяет ей избежать кризиса и попытаться стать опорой для всей экономики страны.

Список литературы

1. Дубинин С.К. Российская банковская система – испытание финансовым кризисом // Деньги и кредит. – 2015. – № 1. – С. 9–12.

2. Официальный журнал Европейского Союза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eur-lex.europa.eu/legal-content.

3. Официальный сайт Центрального банка РФ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – URL: http://www.cbr.ru.

4. Российские банки нашли способ обойти санкции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rusvesna.su/economy.

5. Сухов М.И. Актуальные вопросы развития банковского сектора Российской Федерации // Деньги и кредит. – 2014. – № 10. – С. 3–7.

6. Текущий кризис, его причины и необходимые меры» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://expert.ru/news.

References

1. Dubinin S.K. Rossijskaja bankovskaja sistema ispytanie finansovym krizisom // Dengi i kredit. 2015. no. 1. pp. 9–12.

2. Oficialnyj zhurnal Evropejskogo Sojuza [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://eur-lex.europa.eu/legal-content.

3. Oficialnyj sajt Centralnogo banka RF. [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa. URL: http://www.cbr.ru.

4. Rossijskie banki nashli sposob obojti sankcii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://rusvesna.su/economy.

5. Suhov M.I. Aktualnye voprosy razvitija bankovskogo sektora Rossijskoj Federacii // Dengi i kredit. 2014. no. 10. pp. 3–7.

6. Tekushhij krizis, ego prichiny i neobhodimye mery» [Jelektornnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://expert.ru/news.

Рецензенты:

Белкин В.Г., д.э.н., профессор, советник директора Школы экономики и менеджмента, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток;

Карастелев Б.Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Экономика и организация производства», Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток.

УДК 334.723

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕССИОННЫХ ПРОЕКТОВ – ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Тронина М.В., Черданцев В.П., Черданцев П.В.

НП ВПО «Прикамский социальный институт», Пермь, e-mail: psi.nayka@mail.ru

Государственно-частное партнерство концентрирует внимание государственных и муниципальных органов на качественном выполнении своих функций и нацеливает на сокращение бюджетных рисков за счет распределения их между государством и частным партнером. Совершенствование механизмов государственно-частного партнерства обеспечит возможность выполнения общественно значимых проектов в кратчайшие сроки, и это может быть привлекательно, в отличие от традиционных форм финансирования. Кроме того, возможно повышение эффективности рисковых проектов за счет участия в них бизнеса, снижение нагрузки на все виды бюджетов с привлечением частных инвестиций и возмещение части затрат за счет пользователей, то есть предоставление услуг через коммерциализацию. Имея огромный потенциал, государственно-частное партнерство остается сложным инструментом проведения политики государства. Для перехода от традиционной модели оказания общественных услуг через государственный сектор к инновационному пути развития необходимо провести работу по преодолению правовых, политически и институциональных барьеров.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, проект, инвестиции, концессионное соглашение, бизнес

IMPLEMENTATION OF CONCESSION PROJECTS – MAIN DIRECTION OF DEVELOPMENT OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP

Tronina M.V., Cherdantsev V.P., Cherdantsev P.V.

Prikamsky Social Institution, Perm, e-mail: psi.nayka@mail.ru

Public-private partnerships are the focus of state and municipal authorities on the quality performance of their functions and aims at reducing fiscal risks by distributing them between the state and the private partner. Improvement of mechanisms of state-private partnership will provide the ability to perform public projects in the shortest time, and this may be attractive in contrast to traditional forms of financing. In addition, it may increase the effectiveness of risk projects at the expense of participation, reduction of workload for all types of budgets with the involvement of private investment and reimbursement of expenses for the account of the user, i.e. the provision of services through commercialization. Having great potential, public-private partnership remains a significant instrument of state policy. For the transition from the traditional model of providing public services through the public sector to innovative way of development work is needed to overcome legal, political and institutional barriers.

Keywords: public-private partnership, project, investment, concession agreement, business

Накопленный за последние два десятилетия отечественный и международный опыт подтверждает, что основным механизмом расширения базы ресурсов и нахождения резервов для ведения деятельности, что может дать экономический рост и развитие эффективного управления муниципальной (общественной) и государственной собственностью, является государственно-частное партнерство (ГЧП). Для правильного применения такого инструмента, как ГЧП, важно понять механизм, то есть совокупность всех форм и моделей реализации в практике. В процессе эволюции и развития государственно-частного партнерства сложилось много схем по взаимодействию бизнеса и государства [4].

В современной России система государственно-частного партнерства имеет механизм, который способен заменить технологическую политику государства периода плановой экономики и способен сформировать связи между бизнесом и группами исследователей. Ученые могут выбирать перспективные, на их взгляд, направления исследований, проводить подбор членов команды в процессе ее формирования, проводить всесторонние экспертизы проектов для снижения рисков и рационального использования финансовых средств и других ресурсов. Это может являться главным аргументом для крупного бизнеса в процессе вхождения в систему государственно-частного партнерства. Опыт и связи российских ученых с мировой наукой дает понимание важности и необходимости развития российской экономики в технологическом плане.

В ряде секторов экономики государственно-частное партнерство может дать определенное преимущество, например улучшение общественной инфраструктуры, уменьшение сроков производства работ при предоставлении услуг, за счет повышения инноваций в целом ряде секторов. Имея огромный потенциал, государственно-частное партнерство остается сложным инструментом проведения политики государства. Для перехода от традиционной модели оказания общественных услуг через

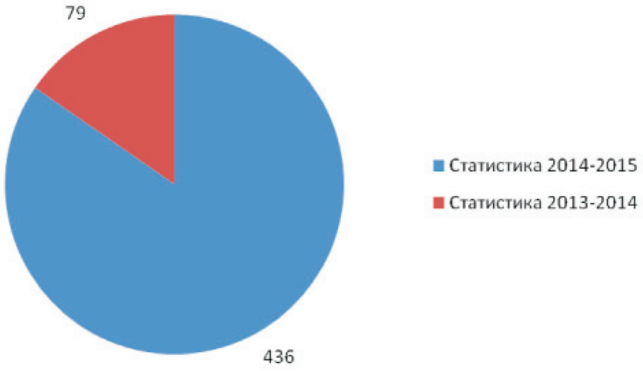
государственный сектор к инновационному пути развития необходимо провести работу по преодолению правовых, политических и институциональных барьеров.

В современных условиях, когда отсутствует единое законодательство о государственно-частном партнерстве, реально взаимодействуют бизнес и государство. Это взаимодействие, основанное на принципах взаимного распределения рисков при реализации проектов, софинансирования затрат при повышении качества предоставляемых услуг за счет привлечения компетенций специалистов, называется концессионным соглашением.

При подсчете общего числа заключаемых концессионных соглашений в 2013–2014 году не учитывались данные по большинству муниципальных концессий, которые были заключены на протяжении года. В 2014–2015 годах рост общего числа концессий более чем в 5 раз (рисунок) обусловлен более достоверным предоставлением информации со стороны субъектов Российской Федерации, а также тем, что необходимо в обязательном порядке публиковать сведения о заключаемых концессионных соглашениях на портале torgi.gov.ru [3].

Тем не менее в 2014 году можно говорить о 170 новых заключенных концессионных соглашениях, большинство из которых – объекты сферы коммунальной (системы водоснабжения, теплоснабжения и водоотведения), из которых более 80% заключается в малонаселенных пунктах (до 10 тысяч человек).

Обобщение статистики по сферам инфраструктуры, текущим этапам и административным уровням реализации проектов представлено в таблице [3].



Статистика заключения концессионных соглашений

Обобщение практики реализации концессионных проектов по сферам реализации

Этап реализации \ Сфера	Коммунальная	Социальная	Транспортная	Энергетическая	Общий итог
Межмуниципальный	3	1	2		6
Инициирование	3	1	2		6
Муниципальный	159	23	3	143	328
Завершение	1			1	2
Инвестиционный	108	8		115	231
Инициирование	13	3		4	20
Предынвестиционный	6	1	2	2	11
Эксплутационный	31	11	1	21	64
Региональный	18	40	29	6	93
Инвестиционный	7	7	3	1	18
Инициирование	5	15	11	1	32
Предынвестиционный	4	12	15	1	32
Эксплутационный	2	6		3	11
Федеральный		1	8		9
Инициирование		1			1
Предынвестиционный			4		4
Инвестиционный			2		2
Эксплуатационный			2		2
Общий итог	180	65	41	149	436

Примечание. По данным портала torgi.gov.ru.

Учитывая, что на сегодняшний день в России концессионное соглашение является основной формой государственно-частного партнерства (особенно на муниципальном и региональном уровнях), внимание заинтересованных лиц к механизму частной инициативы возрастает.

Государственно-частное партнерство концентрирует внимание государственных и муниципальных органов на качественное выполнение своих функций и нацеливает на сокращение бюджетных рисков за счет распределения их между государством и частным партнером.

Совершенствование механизмов государственно-частного партнерства обеспечит, возможность выполнения общественно значимых проектов в кратчайшие сроки, и это может быть привлекательно, в отличие от традиционных форм финансирования. Кроме того, возможно повышение эффективности рисковых проектов за счет участия в них бизнеса, снижение нагрузки на все виды бюджетов с привлечением частных инвестиций и возмещение части затрат за счет пользователей, то есть предоставление услуг через коммерциализацию.

Основными проблемами в реализации идей государственно-частного партнерства в нашей стране являются следующие.

Во-первых, на законодательном уровне не проработаны механизмы государственно-частного партнерства. В законодательстве существуют определенные пробелы: не ясная юридическая позиция в части собственности, налогообложения и возможности регулирования конфликтных ситуаций. Законодательство должно установить современную структуру, которая важна для принятия государственных решений, связанных с выполнением рисковых обязанностей.

Во-вторых, необходимо обеспечение возможности повышения квалификации муниципальных и государственных служащих в целях стабильного функционирования государственно-частного партнерства. Необходимо уделять внимание проведению консультационной поддержки при реализации проектов на всех уровнях власти.

В-третьих, важна обеспеченность прозрачных и транспорентных конкурсных процедур по доступности участников к системе государственно-частного партнерства.

В действующем законодательстве для решения этих задач важно снять и закрыть имеющиеся пробелы и противоречия.

Решающую роль в выполнении этих задач играет инновационное развитие государственной экономики, где важное значение имеют финансово-инвестиционные механизмы государственно-частного партнерства.

Бизнес-структуры, принимающие участвующие в проектах партнерства, получают большие возможности для увеличения прибыли своего бизнеса, имея возможность реализации хозяйственной свободы, быстро реагируя на изменения и внедряя инновации. Можно отметить, что представители бизнеса не всегда придерживаются понятия социальной ответственности, хотя это очень важно в процессе реализации проектов государственно-частного партнерства, особенно в направлениях жизнедеятельности населения. Например, относительно сферы профессионального образования это может выразиться в ненадлежащем качестве выполнения учебных планов и реализации образовательных стандартов и программ обучения.

Частные инвесторы часто не имеют достаточно ресурсов для осуществления проектов государственно-частного партнерства, поэтому на начальном этапе проекта при заключении соглашения важную роль играет оценка совокупного объема финансовых вложений и возможных рисков, как со стороны государства, так и со стороны бизнеса. Примером может служить ситуация, проявившаяся на начальном этапе организации государственно-частного партнерства, при которой бизнесмены излагали условия договора в таком виде, что на государственные структуры ложились основные риски, а предприниматели получали значительную часть дохода, в результате многие проекты был завершены досрочно.

Например, ресурсы для финансирования научных разработок и нововведений в США поступают не только от государства, но и от частных фирм и организаций примерно в следующих пропорциях: 35% – из федерального бюджета (около 200 млрд долл. США); 60% – за счет собственных средств производственных компаний; 5% – из средств правительств штатов, органов местного самоуправления [1]. Отличительной особенностью инновационной государственной политики США от других развитых стран является ориентация на развитие малого наукоемкого бизнеса, совершенствование процесса трансфера технологий из сферы науки в производственный сектор. На поддержку малого инновационного предпринимательства выделяются свыше 1,0 млрд долл. государственных средств и 935 млн долл. средств частного сектора [2]. К основным формам поддержки малого предпринимательства в США относятся: специальная программа поддержки малого инновационного предпринимательства; займы по линии государственной поддержки инноваций; государственные

финансовые вложения; создание разветвленной сети венчурных фондов; финансирование из средств частного сектора и др.

Как показывает практика, привлечение отечественных и иностранных частных инвестиций позволяет снизить нагрузку на бюджет и обеспечить максимальную эффективность их использования. Одним из приоритетных направлений в сфере развития применения государственно-частного партнерства на современном этапе является активное его внедрение в сферу образования как элемента прорывных технологий для повышения качества образования в стране [5].

В сфере высшего профессионального образования государственно-частное партнерство способствует уменьшению остроты проблемы, заключающейся в устаревании материально-технической базы и оборудования для исследований в учебных заведениях, что, несомненно, является важным в условиях повышения стоимости строительно-монтажных и других работ в процессе обновления основных непроизводственных фондов и дефицитности источников заемных средств.

Важным направлением инновационной деятельности государственно-частного партнерства является государственное участие в совершенствовании системы венчурного финансирования. Венчурный капитал является финансовым звеном инновационной инфраструктуры, которое объединяет носителей технологий и носителей капитала. Он решает проблему финансового дефицита в реализации инновационных проектов.

Основная задача венчурного инвестирования – организация содействия роста конкретного бизнеса посредством предоставления необходимой финансовой помощи в обмен на определенный пакет акций или долю в уставном капитале. Впоследствии происходит обратный процесс – венчурный фонд получает прибыль, а приобретенные акции или доли в уставном каптале возвращаются прежним владельцам. Одна из главных особенностей деятельности венчурных фондов заключается в том, что они являются посредниками между объектами инвестирования и инвесторами.

Главная проблема всестороннего применения венчурного исследования – разрешено законодательством только в закрытых паевых инвестиционных фондах (ЗПИФ), в которых все средства вкладываются не по мере формирования портфеля проектов, а сразу в полном объеме. Если рассмотреть мировую практику, то там венчурные фонды, как правило, создаются, в форме обществ с ограниченной ответственностью. Эта форма организации финансирования предусматривает подбор заведомо беспроигрышных проектов, так как инвесторы, которые вкладывают денежные средства в венчурный фонд, должны выделить их все сразу, а не частями. Поэтому венчурный капитал имеет следующие особенности:

а) он инвестируется в основном в инновационные проекты, подверженные повышенным рискам;

б) он нацелен на получение высокой нормы прибыли.

Наиболее актуальным в условиях преодоления последствий финансово-экономического кризиса является вопрос об организации региональных органов общественно-государственного управления для координации работы проектов государственно-частного партнерства. Основной целью деятельности этого органа управления должна являться поддержка в развитии механизмов государственно-частного партнерства, формирование и поддержка инициатив в регионе при реализации этих проектов.

Список литературы

1. Иванов С.А., Осип Е.Я. Инновационный потенциал развития экономической безопасности хозяйственной системы: http://hghltd.yandex.net/yandbtm?fmode=.

2. Мустафин М.А. Инновационная политика в развитых странах мира // Банки Казахстана. – 2008. – № 2. – С. 28–31.

3. Официальный сайт Российской Федерации для размещения информации о проведении торгов www/torgi.gov.ru.

4. Черданцев В.П., Захаров Н.Н., Тронина М.В. Государственно-частное партнерство в сфере образования – социально-экономический аспект // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6 (часть 2).

5. Черданцев В.П., Андруник А.П., Котова С.А. Государственно-частное партнерство как элемент прорывных технологий для повышения качества образования // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.

References

1. Ivanov S.A., Osip E.Ja. Innovacionnyj potencial razvitija jekonomicheskoj bezopasnosti hozjajstvennoj sistemy: http://hghltd.yandex.net/yandbtm?fmode=.

2. Mustafin M.A. Innovacionnaja politika v razvityh stranah mira // Banki Kazahstana. 2008. no. 2. pp. 28–31.

3. Oficial'nyj sajt Rossijskoj Federacii dlja razmeshhenija informacii o provedenii torgov www/torgi.gov.ru.

4. Cherdancev V.P., Zaharov N.N., Tronina M.V. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v sfere obrazovanija social'no-jekonomicheskij aspekt // Fundamental'nye issledovanija. 2015. no. 6 (chast' 2).

5. Cherdancev V.P., Andrunik A.P., Kotova S.A. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak jelement proryvnyh tehnologij dlja povyshenija kachestva obrazovanija // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 4.

Рецензенты:

Светлакова Н.А., д.э.н., профессор кафедры организации производства и предпринимательства в АПК, Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь;

Пыткин А.Н., д.э.н., профессор, директор Пермского филиала, ФГБУН «Институт экономики» УрО РАН, г. Пермь.

УДК 332.025.13

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО АУДИТА КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

[1]Шалыгина Н.П., [1]Селюков М.В., [1]Немченко О.А., [2]Тарасенко А.В., [1]Тарасенко С.А.

[1]ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: maxisel@mail.ru;

[2]АНО ВПО «Белгородский университет кооперации, экономики и права», Белгород, e-mail: maxisel@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с необходимостью совершенствования инструментария аудита на государственном уровне как фактора повышения эффективности управления национальными ресурсами, представлены пути повышения эффективности использования государственных средств, предложения по формированию эффективной системы государственного финансового контроля. Описывается природа государственного аудита, рассматриваются экономическая и социальная эффективность использования государственных средств, критерии и показатели эффективности деятельности государственных органов власти при осуществлении государственного аудита, а также особенности организации и функционирования эффективной системы государственного аудита. Особое внимание уделяется построению системы государственного аудита, отвечающего требованиям демократического общества и способствующего развитию отечественной финансовой системы, оптимизации экономического механизма функционирования государственного аудита, разработке и внедрения системы показателей, характеризующих различные аспекты его функционирования.

Ключевые слова: государственный аудит, инструментарий государственного аудита, социальная и экономическая эффективность использования государственных средств

THE DEVELOPMENT OF THE INSTRUMENTS OF THE STATE AUDIT AS A FACTOR OF INCREASE OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT OF THE NATIONAL RESOURCES

[1]Shalygina N.P., [1]Selyukov M.V., [1]Nemchenko O.A., [2]Tarasenko A.V., [1]Tarasenko S.A.

[1]Belgorod state national research university, Belgorod, e-mail: maxisel@mail.ru;

[2]Belgorod university of cooperation, economics and law, Belgorod, e-mail: maxisel@mail.ru

The article discusses issues related to the need to improve the audit tool at the state level as a factor of increase of efficiency of management of the national resources, the ways of increase of efficiency of use of public funds, proposals for the formation of an effective system of state financial control. Describes the nature of the state audit, examines the economic and social efficiency of public expenditure, criteria and indicators of efficiency of activity of public authorities in the implementation of public audit, as well as peculiarities of organization and functioning of an effective system of public audit. Special attention is paid to the construction of a system of public audit that meets the requirements of a democratic society, and contributing to the development of the domestic financial system, the optimization of the economic mechanism of functioning of the state audit, development and implementation of a system of indicators characterizing various aspects of its functioning.

Keywords: state audit, the state audit toolkit, social and economic efficiency of use of public funds

Природа современного управления структурными экономическими преобразованиями состоит в том, что на первый план выдвигается проблема поиска эффективных методов, механизмов и траекторий управления развитием потенциала страны, включая формирование действенной системы управления государственными средствами, особое место в которой занимает государственный аудит как стратегический фактор эффективного использования средств бюджета, а также государственной собственности в целом.

Функционирование эффективного механизма управления государством посредством централизованной аккумуляции финансовых ресурсов и организации процесса их перераспределения предполагает разработку четкой системы государственного аудита, который будет способен обеспечить законность финансовой деятельности государства и дать оценку ее целесообразности и эффективности. Следует отметить, что проблемы обеспечения единства системы государственного аудита в современной действительности занимают ключевое место [5].

Государственный аудит на данном этапе развития отечественной экономики является мощным рычагом воздействия на деятельность государственных финансовых структур как пользователей бюджетных средств, гарантом эффективной государственной финансово-право-

вой политики. Он объединяет в себе, во-первых, внешний государственный аудит, осуществляемый специальными органами государственного управления в целях контроля за исполнением бюджетов. И, во-вторых, контроль результатов в области политики, экономики, социального развития, экологии и духовной сферы, получаемых как итог деятельности органов государственной власти в ходе использования публичных ресурсов, то есть в области полномочий органов государственной власти, определённых Конституцией России, федеральными и региональными законами [7].

Государственный аудит – это вид профессиональной деятельности, направленный на повышение эффективности управления национальными ресурсами, важнейшими из которых являются государственные финансы, собственность, природные богатства, интеллектуальный капитал. Государственный аудит включает не только проверку финансовой отчетности государственных структур, но в настоящее время его миссией и основной задачей является обеспечение от имени государства и общества независимого объективного публичного контроля деятельности органов власти по управлению вверенными им общественными ресурсами. При осуществлении государственного аудита основными вопросами становятся не столько определение целевого и законного характера расходования средств, сколько целесообразность и эффективность управленческих решений, принятых в связи с разработкой и реализацией стратегического плана регионального развития [4].

Система государственного аудита раскрывает потенциальные возможности структурных преобразований экономики с точки зрения принятия эффективных управленческих решений, обеспечивающих рациональное потребление инвестиционных ресурсов с учетом технико-технологического и организационно-экономического уровня развития. Эффективность такого подхода состоит в развитии сложных экономических процессов, обусловленных структурной модернизацией и изменениями в экономической парадигме бюджетных отношений. С точки зрения воспроизводственного процесса эти области являются мало исследованными, прежде всего на региональном и территориальном уровнях. Именно бюджетные отношения и бюджетная политика при правильном управленческом подходе вполне могут обеспечить экономическую целесообразность инвестиционных принципов управления, задействованных в аудиторском механизме контрольной функции государства.

Система государственного аудита может быть представлена в виде комплекса направлений развития объектов наблюдения, показателей для оценки эффективности программ, управленческой деятельности субъектов бюджетного планирования и включает три блока:

– государственный аудит хода реализации стратегий и программ социально-экономического развития территории;

– государственный аудит эффективности деятельности субъектов бюджетного планирования;

– государственный аудит эффективности исполнения бюджетных доходов и расходов.

При этом, как показывает практика, государственный аудит, осуществляемый в различных субъектах РФ, имеет свои особенности, обусловленные механизмом постановки и реализации целей социально-экономического развития территории, структурой региональной экономики и развитостью социальной сферы.

Необходимо отметить, что государственный аудит как важнейший инструмент обеспечения финансовой безопасности на мезо- и макроэкономическом уровне включает в себя различные категории, формы и механизмы финансового контроля, приоритетным из которых в последнее время становится аудит эффективности использования государственных средств. Экономическая эффективность использования государственных средств означает достижение проверяемой организацией заданных результатов с использованием наименьшего объема затрат. Эта составляющая определяется сравнением затраченных денежных средств и финансовых ресурсов с аналогичным показателем предыдущего периода или с аналогичным показателями других организаций. Типичным примером эффективного использования государственных средств является обеспечение сокращения расходов бюджетных средств на покупку товаров и услуг путем проведения конкурсов [6]. Таким образом, использование государственных средств будет эффективным в том случае, когда затраты на единицу произведенной продукции и оказанной услуги или же объем продукции и услуг на единицу затрат будут равны или меньше запланированных (при наличии соответствующих нормативов). Если такие нормативы отсутствуют, то тогда

фактически полученные соотношения между затратами и результатами могут сравниться с аналогичными соотношениями между затратами и результатами в других хозяйствующих субъектах, осуществляющих подобную деятельность.

На наш взгляд, более трудной задачей и сложной процедурой, однако не менее значимой, является оценка социальной эффективности использования государственных средств, связанной с определением конечного социального эффекта для общества в целом или определенной части населения, полученного в результате выполнения проверяемым хозяйствующим субъектом возложенных на него функций и задач. Для этого необходимо наличие совокупности конкретных и количественно измеримых показателей, отражающих выполнение той или иной функции или задачи.

В качестве средств мониторинга социального развития используются социальные индикаторы, дающие представление о текущем состоянии общества, его трансформациях, тенденциях, кризисных явлениях, а также качестве принимаемых управленческих решений. Важными сферами социального развития, измеряемыми с помощью социальных индикаторов, являются функционирование системы государственного управления, адекватность институционального устройства, эффективность использования общественных ресурсов. Сбор такой информации и предоставление ее обществу входит в задачи государственного аудита, организация которого и статус в системе государственной власти ориентированы на выполнение этой функции [1].

Таким образом, в современных условиях реформирования экономики России повышение эффективности использования государственных ресурсов, обеспечение общества качественными социальными услугами, достижение открытости деятельности органов власти и государственного сектора требуют систематического подхода к совершенствованию инструментария государственного аудита. Развитие государственного аудита в российской действительности многоукладной рыночной экономики как формы финансового контроля, обеспечивающей комплексную целевую оценку результатов деятельности в государственном секторе, является одним из приоритетных направлений в обеспечении финансовой безопасности страны и национальной безопасности в целом. В этих условиях назрела необходимость оптимизации именно экономического механизма регулирования аудита как необходимого условия эффективного государственного управления и успешного его реформирования.

В целях оптимизации экономического механизма функционирования государственного аудита возникает необходимость совершенствования системы показателей, характеризующей различные аспекты его функционирования. Особое внимание следует уделять так называемым финансовым и нефинансовым показателям, позволяющим дать оценку не только экономическому эффекту или эффективности деятельности, но и социально-экономическим, экологическим и другим последствиям влияния организаций на внешнюю среду. Например, к числу основных групп системы показателей, лежащей в основе государственного аудита, можно отнести:

– экономические показатели, характеризующие общий уровень развития экономики (например, спад или подъем), процентные ставки и наличие доступных финансовых ресурсов, инфляция, девальвация или ревальвация национальной валюты и т.п.;

– социальные показатели, характеризующие текущее состояние общества, его трансформацию, тенденции, кризисные явления, а также качество принимаемых управленческих решений, в целом социальное развитие;

– правовые показатели, характеризующие нормативные правовые акты, регулирующие деятельность в отрасли, нормативные правовые акты, которые существенным образом влияют на деятельность аудируемого лица, и т.п.;

– отраслевые показатели, характеризующие особенности рынка товаров, работ и услуг, технологий производства, имеющих отношение к производимой продукции аудируемого лица, энергоснабжение и стоимость энергоресурсов и т.п.

К числу основных методов измерения эффективности расходов государственных средств следует отнести:

– оценочные методы (метод сравнений, индексный метод, эталонное тестирование);

– диагностические методы (факторный анализ, имитационное моделирование, регрессионный анализ);

– эвристические методы (методы экспертных оценок, балльная оценка).

В целом следует отметить, что применение единой системы показателей для оценки эффективности государственных расходов позволит оценивать степень

достижения поставленных целей по повышению эффективности использования ресурсов при помощи числовых критериев. Использование предлагаемой системы упростит сравнение эффективности расходования государственных средств, как между отдельными бюджетными учреждениями, так и между различными муниципальными образованиями и регионами.

Развитие экономического механизма регулирования государственного аудита предъявляет новые требования и к организации аудита как составной части системы государственного управления, которая должна отвечать новым ориентирам социально-экономического развития страны. Важная роль в повышении эффективности экономического регулирования государственного аудита на федеральном уровне принадлежит Счетной палате Российской Федерации [2], а на региональном – контрольно-счетным органам субъектов Федерации, которые за последние годы создали достаточно эффективную систему контроля законности и целевого использования бюджетных средств и государственной собственности, способствовали улучшению финансовой дисциплины в стране. При этом нельзя обойти вниманием тот факт, что для сложившейся системы государственного аудита свойственен ряд проблем, разрешение которых требует разработки критериев и показателей эффективности деятельности государственных органов власти при осуществлении государственного аудита. К данным критериям и показателям можно отнести:

– результативность (выявленный объем средств, использованных с нарушениями законодательства; выявленный объем неэффективно использованных средств; выявленный объем средств, использованных не по целевому назначению; количество подготовленных представлений и предписаний);

– действенность (количество исполненных представлений и предписаний; объем средств, возвращенных в федеральный бюджет и на бюджетные счета организаций; количество структурных преобразований в экономике, министерствах, ведомствах и на предприятиях; количество поправок в действующее законодательство);

– экономичность (объем средств, затраченных на осуществление финансового контроля; объем средств, затраченных проверяемым субъектом контроля на подготовку материалов для проверяющих; уровень экономичности) [3].

Кроме вышеописанных критериев и их показателей, оценивающих деятельность контрольного органа, следует обратить внимание также на:

– *критерий интенсивности деятельности*, включающий показатели: количество контрольных мероприятий; объем проверенных средств; количество проверенных объектов;

– *критерий динамичности деятельности*, включающий показатели: уровень результативности контрольных мероприятий; уровень эффективности контрольных мероприятий; уровень жесткости контроля; уровень действенности представлений (предписаний).

С целью совершенствования экономического регулирования в системе государственного аудита требуется модернизация ряда сложившихся в государстве систем управления финансовыми потоками (особенно бюджетного процесса), внедрения международных стандартов отчетности, корректировки функций финансовых ведомств страны. Переход бюджетного процесса на принципы результативности использования бюджетных средств требует создания адекватных механизмов государственного аудита, основой которых является аудит эффективности использования бюджетных средств, позволяющих определять степень достижения запланированных социально-экономических результатов.

Таким образом, развитие инструментария государственного аудита является одним из основных условий эффективного управления национальными ресурсами, приоритетным фактором обеспечения финансовой безопасности государства. При этом разработка адекватных экономических механизмов аудита, позволяющих определять степень достижения запланированных социально-экономических результатов и тем самым давать оценки эффективности использования государственных средств органами исполнительной власти, является на сегодняшний день одним из важнейших направлений его совершенствования.

Список литературы

1. Кабанова, О.В. Значение и роль государственного аудита для оценки и измерения социального развития современного общества // Научное обозрение. Серия 2 «Гуманитарные науки». – 2010. – № 6–2010. – С. 8–14.

2. О Счетной палате Российской Федерации: Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 41-ФЗ [Электронный ресурс]: Справочно-правовая система «Консультант-Плюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170581/.

3. Романова Т.Ф. Аудит эффективности бюджетных расходов / Т.Ф. Романова, О.И. Карепина // Финансовые исследования. – № 9. – 2004. – С. 38–43.

4. Саунин А.Н. Анализ эффективности использования государственных средств: дис. … докт. эконом. наук. – М., 2006. – 391 с.

5. Селюков М.В. Система финансово-бюджетного контроля и его роль в обеспечении финансовой безопасности региона [Электронный ресурс] / М.В. Селюков, Н.П. Шалыгина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: http://www.science-education.ru/117-13117.

6. Степашин С.В. Внедрение аудита эффективности использования государственных средств в практику деятельности контрольно-счетных органов Российской Федерации [Электронный ресурс] / под общ. ред. С.В. Степашина; URL: adm.yar.ru/duma/palata/uch_audit.rtf.

7. Степашин С.В. Государственный аудит и экономика будущего: монография. – М., 2008. – 608 с.

References

1. Kabanova O.V. Znachenie i rol gosudarstvennogo audita dlya ocenki i izmereniya socialnogo razvitiya sovremennogo obshchestva // Nauchnoe obozrenie. Seriya 2 «Gumanitarnye nauki». 2010. no. 6–2010. pp. 8–14.

2. O schetnoj palate Rossijskoj Federacii federalnyj zakon ot 5 aprelya 2013g. no. 41-FZ [Ehlektronnyj resurs]: Spravochno-pravovaya sistema konsultantplyus. Rezhim dostupa: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170581.

3. Romanova T.F. Audit ehffektivnosti byudzhetnyh raskhodov / T.F. Romanova, O.I. Karepina // Finansovye issledovaniya. no. 9. 2004. pp. 38–43.

4. Saunin A.N. Analiz ehffektivnosti ispolzovaniya gosudarstvennyh sredstv: dis. … dokt. ehkonom. nauk. M., 2006. 391 p.

5. Selyukov M.V. Sistema finansovo-byudzhetnogo kontrolya i ego rol v obespechenii finansovoj bezopasnosti regiona [Ehlektronnyj resurs] / M.V. Selyukov, N.P. Shalygina // Sovremennye problem nauki i obrazovaniya. 2014. no. 3; URL: http://www.science-education.ru/117-13117.

6. Stepashin S.V. Vnedrenie audita ehffektivnosti ispolzovaniya gosudarstvennyh sredstv v praktiku deyatelnosti kontrolno schetnyh organov Rossijskoj Federacii [Ehlektronnyj resurs]; URL: adm.yar.ru/duma/palata/uch_audit.rtf.

7. Stepashin S.V. Gosudarstvennyj audit i ehkonomika budushchego: monografiya. M., 2008. 608 p.

Рецензенты:

Растворцева С.Н., д.э.н., профессор кафедры мировой экономики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород;

Зимакова Л.А., д.э.н., профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород.

УДК 005.334:334.716(470.345)

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Шилкина А.Т., Савкин А.Г.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: alvina_2007@list.ru

В статье определена значимость эффективного управления рисками в ситуации, сложившейся на российских предприятиях в период санкций Евросоюза и жесткой конкуренции. Сравнительная характеристика подходов к определению понятия «риск» позволила сформулировать собственное понимание данной категории в менеджменте и определить его экономическую сущность. Соотношение принципов менеджмента качества и принципов риск-менеджмента позволило определить интеграционное ядро этих двух областей системы менеджмента. На основе анализа обзора стандартов и регламентирующих документов по риск-менеджменту выявлено повышение интереса к проблеме управления рисками, которые в большей или меньшей степени стараются решать российские предприятия. Обозначены некоторые аспекты исследуемой проблемы в региональном разрезе посредством анализа деятельности одного из предприятий Республики Мордовия, которое ведет активную работу по реализации принципов и элементов руководства стандарта ISO 31000.

Ключевые слова: риски, управление рисками, производственные риски, стандарт ИСО 31000, риск-менеджмент

RISK MANAGEMENT IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISE: REGIONAL ASPECT

Shilkina A.T., Savkin A.G.

Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: alvina_2007@list.ru

The article identifies the importance of effective risk management in the situation of the Russian enterprises in the period of EU sanctions and tough competition. Comparative analysis of approaches to the definition of «risk», has allowed to formulate their own understanding of this ka-categories in management and to determine its economic essence. The ratio of quality management principles and principles of risk management, allowed us to determine the integration core of these two areas of the management system. Based on the analysis of the review of the standards and the regulations on risk management, identified the increasing interest in the problem of risk management that are more or less trying to solve Russian enterprises. Identify some aspects of the research problem in the regional context through the analysis of activity of one of the enterprises of the Mordovia, which is actively working on the implementation of the principles and guidelines of ISO 31000.

Keywords: risks, management risks, production risks, ISO 31000, risk management

В менеджменте понятие «риск» рассматривается как характеристика управленческой деятельности, осуществляемой в ситуации неопределенности вследствие недостаточности информации, при выборе менеджером альтернативного решения, критерий эффективности которого связан с вероятностью проявления негативных условий реализации [9].

Размер потерь организации как результата деятельности в условиях неопределенности представляет собой цену риска, а величина успеха (дополнительной прибыли) – плату за риск. Риск проявляется в процессе реализации продукции производственно-хозяйственной системы или услуги и выступает одним из конечных результатов деятельности. Характер и содержание риска в деятельности организации позволяют определить экономическую природу риска [1].

В табл. 1 представлены некоторые подходы к определению категории риска, используемые в практике менеджмента.

Приведенные в табл. 1 определения показывают многоаспектность категории риск и основополагающее ядро его содержания – это соотношение вероятности наступления последствий, которые приводят к отклонению заданных параметров любого процесса от запланированных.

Рассмотрение различных трактовок понятия «риск» и анализ основных характерных черт проявления рисков позволяют сделать вывод о том, что под риском следует понимать потенциально существующую вероятность потери ресурсов или неполучения доходов, связанную с конкретной альтернативой управленческого решения.

Ориентируясь на современное развитие риск-менеджмента, считаем необходимым проанализировать и определить взаимосвязь его принципов с принципами менеджмента качества. Сравнительная характеристика принципов управления рисками и принципов всеобщего управления качеством представлена в табл. 2.

Таблица 1

Подходы к определению понятия «риск» [7]

Определение	Источник
Риск – это мера несоответствия между разными возможными результатами принятия определённых стратегий	Экономико-математический словарь.
Риск – это возможная потеря, вызванная наступлением случайных неблагоприятных событий	В.Д. Шапиро
Риск – это возможная опасность потерь, вытекающая из специфики тех или иных явлений природы и видов деятельности человеческого общества	И.Т. Балабанов
Риск – это влияние неопределенности на цели	ГОСТ Р ИСО 31000-2010 – «Менеджмент риска. Принципы и руководство»
Риск – это возможная опасность, действие наудачу в надежде на счастливый исход	Словарь С.И. Ожегова
Риск – это возможность наступления события с отрицательными последствиями в результате определенных действий или решений	Большой экономический словарь
Риск – сочетание вероятности события и его последствий	ГОСТ Р 51897-2002 «Менеджмент риска. Термины и определения»

Таблица 2

Соотношение принципов менеджмента качества с принципами риск-менеджмента

Принципы менеджмента качества	Принципы риск-менеджмента и его возможности
1. Ориентация на потребителя	Риск-менеджмент защищает ценность, создаваемую для потребителя
2. Лидерство руководства	В риск-менеджменте руководство не избегает рисков, а умело управляет ими, добиваясь максимальной эффективности деятельности организации
3. Процессный подход	Управляя деятельностью организации как системой процессов, необходимо учитывать все виды рисков, создавать все необходимые предпосылки для их локализации и нейтрализации
4. Системный подход	Риск-менеджмент является неотъемлемой частью всех процессов организации и интегрируется во всю организационную деятельность
5. Вовлечение персонала	Достижение поставленных задач достигается непосредственно с участием всего персонала в риск-менеджменте
6. Принятие решения, основанного на фактах	Риск-менеджмент позволяет выявлять наиболее достоверные тенденции, что способствует принятию более эффективных и объективных решений
7. Взаимовыгодные отношения с поставщиками	Риск-менеджмент делает процесс партнерства более прозрачным и взаимовыгодным
8. Постоянное улучшение	Риск-менеджмент способствует постоянному улучшению как систем менеджмента качества, так и деятельности организации в целом

Система менеджмента качества и система менеджмента рисков – две взаимосвязанные системы и должны быть интегрированы в общую систему менеджмента предприятия неразрывно, тем самым целесообразно выделить риски в системе менеджмента качества по 7 разделу стандарта ГОСТ ISO 9001-2011 «Процессы жизненного цикла продукции», представим их на рис. 1.

На данный момент существует ряд стандартов в области риск-менеджмента. Перечень доступных стандартов в области управления риском представлен в табл. 3.

ГОСТ Р ИСО 31000–2010 стал практическим эталоном, помогающим организациям в разработке собственных систем управления рисками. Стандарт содержит принципы ведения результативного риск-менеджмента, которые внедряют и активно используют передовые компании. В ГОСТ Р 51901.23-2012 установлены принципы анализа опасных событий и инцидентов для включения в реестр риска организации, он предназначен в первую очередь для менеджеров по риску, руководителей организаций и технических экспертов по оценке опасных событий, инцидентов и аварий. Основной его целью является повышение достоверности оценок риска опасных событий и инцидентов, повышение качества и обеспечение сопоставимости информации о риске в реестрах риска различных организаций [3].

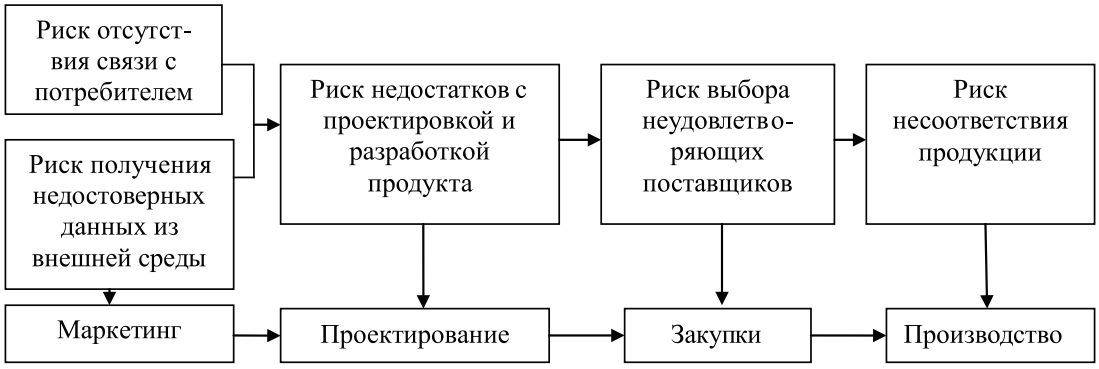


Рис. 1. Влияние рисков в СМК организации

Таблица 3

Перечень стандартов в области риск-менеджмента

Обозначение документа	Разработчик (организация, страна)	Название на русском языке	Название на английском языке
ГОСТ Р ИСО 31000-2010	Международная организация по стандартизации ISO (International Organization for Standardization)	Менеджмент риска. Принципы и руководство	Risk management. Principles and guidelines
ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011	Международная организация по стандартизации ISO (International Organization for Standardization)	Менеджмент риска. Методы оценки риска	Risk management. Risk assessment methods
ГОСТ Р 51901.23-2012	Международная организация по стандартизации ISO (International Organization for Standardization)	Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска	Risk management. Risk register. Assessment Guide of hazards risk for inclusion in register
ISO Guide 73:2009	Международная организация по стандартизации ISO (International Organization for Standardization)	Менеджмент рисков. Словарь	Riskmanagement – Vocabulary
A Risk Management Standard 2002	Федерация европейских ассоциаций риск-менеджеров (FERMA)	Регламент управления риском	A Risk Management Standard
Standard COSO (2004)	Комитет спонсорских организаций (COSO) Комиссии Тредвей (Канада)	Стандарты COSO «Интегрированные системы управления риском на предприятиях»	Enterprise Risk Management (ERM) – Integrated Framework (2004)
AS/NZS 4360:2004	Australian/New Zealand	Стандарт «Риск-менеджмент»	Risk Management standard
HB 436:2004	Australian/New Zealand	Руководящие указания по применению стандарта риск-менеджмента AS/NZS 4360:2004	Risk Management Guidelines. – Companion to AS/NZS 4360:2004
CSA Q 850:1997	Канада	Руководящие указания по принятию решений при управлении риском	Risk Management Guidelines for Decision Makers
JIS Q 2001:2001	Япония	Руководящие указания по разработке и внедрению системы риск-менеджмента	Guidelines for development and implementation of risk managementsystem
ONR 49000: 2008.06.01	Австрийский институт стандартизации Osterreichisches Normungsinstitut	Риск-менеджмент для организаций и систем. Термины и принципы	Risk management for organizations and systems – Terms and principles
Проект	НП «Русское общество управления рисками»	Профессиональный стандарт «Управление рисками (риск-менеджмент) организации»	Risk management for organizations

Таблица 4

Сравнительная характеристика компаний по деятельности в области управления рисками

Компания	Направления деятельности в области управления рисками	Выделение основных видов рисков
ОАО «Автоваз»	1. Контроль основных рисков (операционных, финансовых и правовых рисков). 2. Систематический мониторинг возможных рисков, свойственных как основной операционной деятельности, так и процессу реализации инвестиционных проектов. При этом применяются различные способы реагирования на риски, включая: – уклонение от риска – от рискованных проектов; – предотвращение риска – проведение превентивных мероприятий; – воздействие на источник риска – работа с проблемными поставщиками; – перенос рисков – путем заключения договоров о страховании; – принятие риска – путем создания резервов для покрытия убытков за счет собственных средств. 3. Создана двухуровневая организация управления рисками, охватывающая корпоративный уровень и уровень структурных подразделений [2]	– отраслевые; – страновые и региональные; – финансовые; – правовые; – риски, связанные с деятельностью (в т.ч. производственные и риски потерь клиентов)
Холдинг «Сибур»	Неопределенность развития рынков, проявление неблагоприятных событий в процессе финансово-хозяйственной деятельности холдинга, ограниченность материальных, трудовых и временных ресурсов создают объективную неизбежность проявления рисков. Развитие холдинга требует принятия рискованных решений, умения управлять изменениями и прогнозировать их последствия. Постоянно совершенствуются управленческие подходы и бизнес-процессы, связанные с производственно-хозяйственной деятельностью [6]	– техногенный; – регулятивный; – риск информационных систем; – риск не достижения результатов инвестиционных проектов; – рыночный; – логистический
ОАО «РЖД»	1. Реализации структурных преобразований по снижению риска неконкурентоспособности на российском и зарубежных рынках и обеспечению текущей деятельности. 2. Перераспределение финансовых потоков от ОАО «РЖД» к локальным перевозчикам без создания дополнительной отраслевой стоимости как результата их вхождения в наиболее прибыльные сегменты рынка. 3. Реализация стратегии диверсификации деятельности ориентированной на потребности клиентов, заинтересованных в комплексном транспортно-логистическом обслуживании на российском и зарубежных рынках [4]	– финансовые; – экономические; – операционные

Проект ISO 9001:2015 предполагает анализ рисков как основное предназначение СМК организации. Основная задача организаций – осуществить внедрение новых принципов менеджмент-риска, что позволит обеспечить управляемый переход и повысить степень интеграции СМК с бизнес-процессами и сократить накладные расходы. Проект ISO 9001:2015 представляет требования: «вносить изменения в СМК, при необходимости», которые раньше лишь предполагались, например проверка ошибок, управление изменениями, риск-менеджмент и допуск ошибок при невыполнении запланированных мероприятий [8].

Большинство крупных компаний в России развивают методы и инструменты управления рисками, которые пришли в качестве требований от иностранных компаний, являющихся инвесторами или партнерами при реализации различных проектов. Управление рисками получило широкое распространение в предприятиях нефтегазовой, транспортной, строительной и машиностроительной отраслей, финансовом и банковском секторах. Примерами таких компаний могут служить Лукойл, РАО ЕЭС, ОАО РЖД, ГАЗПРОМ, РУСАЛ, Аэрофлот, Альфа-Банк, Русский Банк Развития, Внешторгбанк. В большинстве компаний введены внутренние стандарты организаций по управлению рисками [5].

В настоящий момент перед многими российскими предприятиями, в том числе и предприятиями Республики Мордовия, стоят цели сохранения своего устойчивого развития за счет грамотного и эффективного управления рисками в разных областях своей деятельности. Так, в ОАО СЗРТ проводятся семинары-тренинги, обучение персонала в области управления рисками. Целью данных проектов является увеличение

эффективности управления компанией, сокращение издержек, повышение знаний персонала, а также для продвижения продукции и имиджа компании Рабэкс Групп. Наиболее часто встречающиеся риски и угрозы невыполнения показателей основных бизнес процессов системы менеджмента качества ОАО СЗРТ представлены на рис. 2.

тегического управления. Комплексное управление рисками позволяет более полно учитывать внутренние и внешние рискообразующие факторы в деятельности предприятия, определяет пути обеспечения устойчивости хозяйствующего субъекта, его способности противостоять неблагоприятным ситуациям. Реализация принципов

Рис. 2. Потенциальные риски и угрозы в основных процессах СМК ОАО «СЗРТ»

Из рисунка видно, что практически все основные процессы жизненного цикла продукта имеют наличие признаков неуправляемости рисками, это говорит о необходимости ведения серьезной работы по прогнозированию рисков и их планированию на предприятии.

Заключение

Таким образом, риск-менеджмент является достаточно новой парадигмой стра-

менеджмента качества и принципов риск-менеджмента в их интеграции позволяет вести систематический мониторинг рисков, проводить соответствующие корректирующие и предупреждающие действия, а также планировать и прогнозировать риски организации. Значимыми индикаторами эффективного управления рисками являются положительные показатели основных бизнес-процессов и отсутствие рекламаций потребителей.

Список литературы

1. Антикризисное управление [Электронный ресурс]. – URL: http://bus.znate.ru.

2. Годовой отчет о деятельности ОАО «Автоваз» [Электронный ресурс]. – URL: http://info.avtovaz.ru/index.php?id=186.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» [Электронный ресурс]. – URL: http://ivan-shamaev.ru/wp-content/uploads/2013/05/31010-2011.

4. Информационные ресурсы ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – URL:http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#2.

5. История развития практики и исследований в области управления рисками [Электронный ресурс]. – URL: http://www.moluch.ru/archive/79/13887.

6. Отчет о результатах деятельности Холдинга «Сибур» [Электронный ресурс]. – URL: http://investors.sibur.com/disclosure.aspx?sc_lang=ru-RU.

7. Риск: понятие, классификация, учёт при оценке бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: http://edu.dvgups.ru/METDOC/EKMEN/FK/OC_STOIM_PREDPR/METOD/K_L.

8. Стандарт ИСО 9001:2015. Что нас ожидает? [Электронный ресурс]. – URL: http://qualityguild.vniis.ru/file/bulletin-DEFAULT/org.stretto.plugins.bulletin.core.Article.

9. Управленческие решения – Текст лекций (В.Н. Лазарев) [Электронный ресурс]. – URL: http://samorazvitie.net.

References

1. Antikrizisnoe upravlenie [Jelektronnyj resurs]. URL: http://bus.znate.ru.

2. Godovoj otchet o dejatelnosti OAO «Avtovaz» [Jelektronnyj resurs]. URL: http://info.avtovaz.ru/index.php?id=186.

3. GOST R ISO/MJeK 31010–2011 «Menedzhment riska. Metody ocenki riska» [Jelek-tronnyj resurs]. URL: http://ivan-shamaev.ru/wp-content/uploads/2013/05/31010-2011.

4. Informacionnye resursy OAO «RZhD» [Jelektronnyj resurs]. URL:http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#2.

5. Istorija razvitija praktiki i issledovanij v oblasti upravlenija riskami [Jelek-tronnyj resurs]. URL: http://www.moluch.ru/archive/79/13887.

6. Otchet o rezultatah dejatelnosti Holdinga «Sibur» [Jelektronnyj resurs]. URL: http://investors.sibur.com/disclosure.aspx?sc_lang=ru-RU.

7. Risk: ponjatie, klassifikacija, uchjot pri ocenke biznesa [Jelektronnyj resurs]. URL: http://edu.dvgups.ru/METDOC/EKMEN/FK/OC_STOIM_PREDPR/METOD/K_L.

8. Standart ISO 9001:2015. Chto nas ozhidaet? [Jelektronnyj resurs]. URL: http://qualityguild.vniis.ru/file/bulletin-DEFAULT/org.stretto.plugins.bulletin.core.Article.

9. Upravlencheskie reshenija Tekst lekcij (V.N. Lazarev) [Jelektronnyj resurs]. URL: http://samorazvitie.net.

Рецензенты:

Краковская И.Н., д.э.н., профессор кафедры менеджмента, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск;

Филиппова Н.А., д.э.н., профессор кафедры финансов и кредита, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск.