ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 4 2015

ISSN 1812-7339

Журнал издается с 2003 г.

Электронная версия: **www.fr.rae.ru**

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

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 33297

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

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

Ответственный секретарь редакции
Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Все публикации рецензируются.
Доступ к журналу бесплатен.

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

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

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

Подписано в печать 06.04.2015
Формат 60x90 1/8
Технический редактор Кулакова Г.А.
Корректор Галенкина Е.С.
Усл. печ. л. 31,63.
Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2015/4

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ФЛАНЦАМИ НА КРИВОШИПНЫХ ПРЕССАХ
Антонюк Ф.И., Логутенкова Е.В., Малышев А.Н. 11

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Баженов Ю.В., Баженов М.Ю. 16

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА КАРБОНИЛЬНОГО ЖЕЛЕЗА
Беляев Е.С., Колосова Т.М., Алексеев В.А., Макаров Н.В., Гетмановский Ю.А. 22

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ МЕТРОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ
Боков М.М., Гришаев М.Е., Мищенко М.В. 28

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РЕВЕРБЕРАЦИИ, АДЕКВАТНОЙ РЕАЛЬНОМУ ПРОЦЕССУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА
Вахитов Я.Ш., Давыдов Д.А. 32

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО ДАТЧИКА
Волкова С.Л., Воробьева И.В., Денисов Ю.В. 37

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «КАРМА» И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ
Горбунов М.А., Медведев А.В., Победаш П.Н., Смольянинов А.В. 42

ОБОСНОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРЮБЛЕРА
Дворников Л.Т., Гудимова Л.Н. 48

ДИНАМИКА ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА НА МНОГОКРАТНОМ КОМБИНАЦИОННОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАНСЕ
Денцов Н.Н. 55

ВЫБОР МОЩНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МЕГАВАТТНОГО КЛАССА
Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В. 61

ВЛИЯНИЕ ОТЛИЧИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ ОТ НОРМАЛЬНОГО НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В СРЕДСТВАХ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ЗАВИСИМЫМ НАБЛЮДЕНИЕМ
Евтушенко О.А. 67

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРУЖИННОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К НАВЕСНОМУ УСТРОЙСТВУ ТРАКТОРА
Зеликов В.А. 74

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТРУИ РАСПЛАВА
Круглов В.Н., Папуловская Н.В., Гиззатулина А.Р. 83

КАОЛИНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СОЮЗНОЕ» КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ФАРФОРА
Курбанбаев М.Е., Есимов Б.О., Адырбаева Т.А. 88

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКОЙ АМПЛИТУДЫ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ПОДАЧИ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОР ГАЗИФИКАЦИИ
Куфтырев К.А., Колосницын А.Н. 93

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
Лаптев А.Г., Башаров М.М. 100

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ
Марухина О.В., Мокина Е.Е., Берестнева Е.В. 107

МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПО ПОЛОСАМ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В СЛУЧАЕ ЗАПРЕЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО ЕЕ ОТДЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ
Наумова Н.А. 114

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Осипов Ю.Р., Шлыков С.А., Осипов С.Ю. 120

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО НАГРЕВА
Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Мамонтов А.С. 125

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ
Разумов М.С., Гладышкин А.О., Зиновкин А.А., Пыхтин А.И., Сидорова М.А. 130

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОЦЕНКИ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ НА КОРНЮ
Салдаева Е.Ю., Анисимов Э.А., Цветкова Е.М. 135

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВЕНАДЦАТИФАЗНОГО КОМПЕНСИРОВАННОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
Сафонов В.И., Хохлов Ю.И., Дзюба М.А., Лонзингер П.В. 140

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА СВОЙСТВА БЕТОНА
Фомичев В.Т., Ерофеев В.Т., Емельянов Д.В., Матвиевский А.А., Митина Е.А. 145

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Хлопков Ю.И., Зея Мьо Мьинт, Хлопков А.Ю. 152

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Хохлов Ю.И., Дудкин М.М., Сафонов В.И., Лонзингер П.В. *157*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА В КОЛЛЕКТОРНОЙ ПЛАСТИНЕ НА НАГРЕВ КОЛЛЕКТОРА

Чуйко А.Д., Христосенков С.А., Петуров В.И. *163*

КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Шанина Е.В., Шанина Ек.В. *169*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В., Савинова Л.Н. *174*

Экономические науки

ОСНОВНЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ РАЗВИТИЮ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

Асаул А.Н., Заварин Д.А., Иванов С.Н. *180*

ПРОЦЕССЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

Баранов С.В. *185*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОБНОВЛЕНИЯ ОСНОВНОГО КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ

Безухов Д.А., Халиков М.А. *191*

ВЛИЯНИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА ПРИЧИНЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ «РЕГИОНАЛЬНОГО МОНОПОЛИЗМА» В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ СТРАНЫ

Бращин Р.М., Чистяков Е.Г. *199*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА

Ибыжанова А.Д., Таршилова Л.С. *203*

ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ НА КРЕДИТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЯ

Конобеева О.Е., Конобеева Е.Е. *208*

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МАРКЕТИНГ КАК ОСНОВА СТАБИЛЬНОГО РОСТА КОМПАНИИ

Лебедева О.А., Скворцова Н.А., Сотникова Е.А. *213*

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСТЫХ АКТИВОВ КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДАННЫМ БУХГАЛТЕРСКОЙ (ФИНАНСОВОЙ) ОТЧЕТНОСТИ

Лытнева Н.А., Кыштымова Е.А. *218*

СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОДУКТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Мирзаянов Ф.Ф. *224*

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Мирошниченко Т.А., Зубарева О.А. *229*

СИСТЕМНО-СИНЕРГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Морозова О.В., Долгополова А.Ф. *234*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ

Околелова Э.Ю., Корницкая О.В. *239*

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ КАК ОСНОВЫ КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В МАЛОМ ГОРОДЕ

Першина Т.А. *244*

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПОРТАЛА

Прохорова А.М. *250*

CONTENTS

Technical sciences

ANALYSIS OF THE PRECISION OF THE COLD EXTRUDING ROD ARTICLES WITH FLANGE ON THE CRANK
Antonyuk F.I., Logutenkova E.V., Malyshev A.N. 11

FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF MOTOR VEHICLE'S CONSTRUCTIVE ELEMENTS UNDER OPERATING CONDITIONS
Bazhenov Y.V., Bazhenov M.Y. 16

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF CARBONYLE-IRON-POWDER-BASED METAL-GLASS MATERIALS
Belyaev E.S., Kolosova T.M., Alekseev V.A., Makarov N.V., Getmanovskiy Y.A. 22

APPLICATION OF QUANTUM METROLOGY IN THE OPERATION OF MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT
Bokov M.M., Grishaev M.E., Mischenko M.V. 28

METHOD OF CONSTRUCTING OF REVERB MODEL AN ADEQUATE TO THE REAL PROCESS OF PROPAGATION OF A SIGNAL
Vakhitov Y.S., Davydov D.A. 32

BASIC PROVISIONS OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM OF DYNAMIC ANALYSIS VIBRATION SENSORS
Volkova S.L., Vorobeva I.V., Denisov Y.V. 37

AN OPTIMIZATION PACKAGE «KARMA» AND ITS APPLICATION IN THE BUSINESS PLANNING TASKS
Gorbunov M.A., Medvedev A.V., Pobedash P.N., Smolyaninov A.V. 42

JUSTIFICATIONS OF A UNIVERSAL SUNTHESIS METHOD OF KINIMATIC CHAINS
Dvornikov L.T., Gudimova L.N. 48

DYNAMICS OF THE SCREEN RIDDLE ON THE MULTIPLE COMBINATIONAL PARAMETRIC RESONANCE
Dentsov N.N. 55

THE CHOICE OF CAPACITY GENERATION EQUIPMENT AUTONOMOUS SOLAR-DIESEL PLANT MEGAWATT CLASS
Dmitrienko V.N., Lukutin B.V. 61

INFLUENCE OF DISTRIBUTION'S DIFFERENCE BETWEEN NORMAL ERRORS AND EXTERIOR ERRORS ON EFFECTIVENESS OF STEADY TO ERRORS CODE'S METHODS IN MEANS OF COMMUNICATION, USED BY AIRCRAFT TRAFFIC MANAGEMENT WITH AUTOMATIC DEPENDENCE SURVEILLANCE
Evtuchenko O.A. 67

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF ENERGY-SAVING SPRING DEVICES TO THE HITCH ATTACHMENT OF THE TRACTOR
Zelikov V.A. 74

VISUAL MODELING MOTION MELT STREAM JET
Kruglov V.N., Papulovskaya N.V., Gizzatulina A.R. 83

KAOLINS OF THE DEPOSIT "SOYUZNOE" AS POTENTIAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF ELECTROTECHNICAL PORCELAIN
Kurbanbaev M.E., Esimov B.O., Adyrbaeva T.A. 88

USING THE PHENOMENON OF ABNORMALLY HIGH AMPLITUDE OF SELF-OSCILLATORY PROCESS IN THE TASKS SUPPLY OF PULVERIZED FUEL IN THE GASIFICATION REACTOR
Kuftyrev K.A., Kolosnitsyn A.N. 93

IMPROVING SYSTEMS ENERGY EFFICIENCY AND IMPORT SUBSTITUTION IN PETROCHEMICAL COMPLEX
Laptev A.G., Basharov M.M. 100

USING DATA MINING FOR REVEALING HIDDEN REGULARITIES IN THE TASK OF ANALYZING MEDICAL DATA
Marukhina O.V., Mokina E.E., Berestneva E.V. 107

THE METHOD OF CALCULATING THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC FLOWS ALONG THE LANES OF THE ROAD NETWORK IN THE CASE OF THE PROHIBITION MOVEMENT IN LOCAL AREAS
Naumova N.A. 114

PROBE OF THE THERMAL CONDITION OF MANTLES OF ROTATION DURING THEIR WORK
Osipov Y.R., Shlykov S.A., Osipov S.Y. 120

REGULARITIES OF CONCENTRATION COTTAGE CHEESE WHEY BY THE METHOD OF DIRECT HEATING
Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Mamontov A.S. 125

COMPUTATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE COMPLEX PROFILE CONNECTION
Razumov M.S., Gladyshkin A.O., Zinovkin A.A., Pykhtin A.I., Sidorova M.A. 130

A WAY TO ASSESS THE RESONANT PROPERTIES OF STANDING TIMBER AT AN EARLY AGE (THEORETICAL GROUNDING)
Saldaeva E.Y., Anisimov E.A., Tsvetkova E.M. 135

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TWELVE-PHASE COMPENSATED RECTIFIER WITH VECTORIAL CONTROL
Safonov V.I., Khokhlov Y.I., Dzyuba M.A., Lonzinger P.V. 140

THE INFLUENCE OF ELECTRODE REACTIONS IN THE PROCESSES OF ELECTROMAGNETIC ACTIVATION OF NATURAL WATER MIXING ON THE PROPERTIES OF CONCRETE
Fomichev V.T., Erofeev V.T., Emelyanov D.V., Matvievskiy A.A., Mitina E.A. 145

MODELLING OF AERODYNAMICS FOR PERSPECTIVE AEROSPACE VEHICLES
Khlopkov Y.I., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Y. 152

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POWER TRANSFORMER WITH VECTORIAL CONTROL
Khokhlov Y.I., Dudkin M.M., Safonov V.I., Lonzinger P.V. 157

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE CURRENT DENSITY DISTRIBUTION IN THE COLLECTOR PLATE FOR HEATING COLLECTOR
Chuyko A.D., Christosenkov S.A., Peturov V.I. 163

COMPLEX OF ACTIONS FOR CREATION OF COMFORTABLE WORKING CONDITIONS AT COAL MINING IN THE CLOSED WAY
Shanina E.V., Shanina Ek.V. 169

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF PHOTOCHEMICAL TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM PHENOLIC POLLUTANTS USING REGULARIZATION METHOD
Sheynkman L.E., Dergunov D.V., Savinova L.N. 174

Economic sciences

THE MAIN OBSTACLES OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ACTIVITY IN THE INVESTMENT AND CONSTRUCTION SPHERE
Asaul A.N., Zavarin D.A., Ivanov S.N. 180

PROCESSES OF INFORMATIZATION IN RUSSIA: PROBLEMS AND ACHIVEMENTS
Baranov S.V. 185

THE CHOICE OF AN OPTIMAL VARIANT OF THE ENTERPRISES FIXED CAPITALS RENOVATION WITH ALLOWANCE FOR RISKS OF THE PRODUCTION SPHEAR
Bezukhov D.A., Khalikov M.A. 191

THE IMPACT OF COMPETITION ON THE CAUSES AND TRENDS «REGIONAL MONOPOLISM» IN THE NATIONAL ECONOMY
Braschin R.M., Chistyakov E.G. 199

MODELING OF SCIENTIFIC-TECHNICAL PARTNERSHIP INFLUENCE ON THE RESULTS OF THE UNIVERSITY ACTIVITY
Ibyzhanova A.D., Tarshilova L.S. 203

INFLUENCE OF THE RESULTS OF FINANCIAL ANALYSIS ON CREDIT POTENTIAL OF THE ENTERPRISE
Konobeeva O.E., Konobeeva E.E. 208

STRATEGIC MARKETING AS THE BASIS OF STABLE COMPANY GROWTH
Lebedeva O.A., Skvortsova N.A., Sotnikova E.A. 213

THE METHOD OF ESTIMATION AND FORECASTING OF NET ASSETS OF JOINT STOCK COMPANIES ACCORDING TO THE ACCOUNTING (FINANCIAL) STATEMENTS
Lytneva N.A., Kyshtymova E.A. 218

MODERN INNOVATIVE TECHNOLOGY AND PRODUCTS OF INDUSTRIAL PROCESSING OF SECONDARY RESOURCES

Mirzayanov F.F. *224*

THE CREATION OF THE SYSTEM OF INTERNAL CONTROL IN AGRICULTURAL ORGANIZATIONS

Miroshnichenko T.A., Zubareva O.A. *229*

SYSTEM-SYNERGISTIC APPROACH TO COUNTRY'S FOOD SECURITY

Morozova O.V., Dolgopolova A.F. *234*

DESIGNING THE SYSTEM OF INNOVATIVE BUSINESS PROCESSES IN ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY

Okolelova E.Y., Kornitskaya O.V. *239*

CONCEPT FORMATION AND REALIZATION OF ENERGY SAVING POTENTIAL AS A BASIS OF A COMFORTABLE STAY IN A SMALL TOWN

Pershina T.A. *244*

ECONOMIC-MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF OPTIMIZATION MODEL STRUCTURE EFFECTIVE PORTAL

Prokhorova A.M. *250*

УДК 621.7

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ФЛАНЦАМИ НА КРИВОШИПНЫХ ПРЕССАХ

Антонюк Ф.И., Логутенкова Е.В., Малышев А.Н.

Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: iwtbhn@mail.ru

Использована методика, основанная на теории параметрической чувствительности технологической системы пресс-штамп-поковка, для анализа факторов, влияющих на точность высотных размеров стержневых поковок с фланцами, изготавливаемых холодной штамповкой выдавливанием на кривошипных прессах. В качестве критериев точности предложены функции чувствительности. Определены аналитические зависимости коэффициентов преобразования высотных размеров, позволяющие оценить точность операции холодной штамповки выдавливанием стержневых изделий с фланцами на кривошипных прессах. Выявлена степень влияния жесткости штампуемых поковок, жесткости кривошипного пресса со штампом, а также исходных случайных и систематической постоянной погрешности наладки на погрешность высоты фланцев с помощью функций чувствительности и коэффициентов преобразования.

Ключевые слова: прямое выдавливание, точность высоты поковок, коэффициенты преобразования, жесткость пресса

ANALYSIS OF THE PRECISION OF THE COLD EXTRUDING ROD ARTICLES WITH FLANGE ON THE CRANK

Antonyuk F.I., Logutenkova E.V., Malyshev A.N.

Moscow State Technical University n.a. Bauman, Kaluga, e-mail: iwtbhn@mail.ru

The methodology used, based on the theory of parametric sensitivity of the technological system of the press stamp-forging for the analysis of the factors affecting the accuracy of the size of tall rod forgings with flanges manufactured cold formed by extrusion on the crank presses. As the criteria of the accuracy proposed by the sensitivity functions. The analytical dependence of the conversion of tall sizes determined to assess the accuracy of the operation of cold extruding rod articles with flanges on the crank presses. The degree of influence of the stiffness of stamping forging, the rigidity of the crank press with a stamp, as well as the source of random and systematic errors of the constant adjustment of the height of the flanges on the error identified by using the sensitivity functions and conversion factors.

Keywords: direct extrusion, the height accuracy of forgings, transform factors, stiffness press

Экономическая эффективность холодной объемной штамповки (ХОШ) обеспечивается высоким коэффициентом использования материалов (85…90%), что позволяет отнести ее к малоотходным технологиям заготовительного производства в машиностроении.

Точность диаметральных размеров поковок, изготавливаемых различными операциями ХОШ, достигает 8…9 квалитетов, что соответствует точности сопрягаемых размеров, а высотных – на 3…5 квалитетов грубее. В последнем случае необходима дополнительная обработка резанием, и это приводит к увеличению трудоемкости изготовления и снижению эффективности ХОШ.

Поэтому проблема повышения точности высотных размеров штампуемых поковок, неразрывно связанная с анализом факторов, влияющих на нее, является актуальной.

При прогнозировании точности поковок, изготавливаемых ХОШ, имеют место два подхода: эмпирический и аналитический. Первый опирается на статистический анализ производственных данных, которые представлены в специальной справочной литературе в виде таблиц точности для различных технологических операций [8]. Статистические показатели представляют собой несомненную ценность. Однако они не могут служить основанием для управления точностью поковок, так как не отражают влияния на достижимую точность таких параметров технологической системы, как жесткость кривошипного пресса со штампом, жесткость штампуемой поковки, характеристики исходной заготовки, а также условия трения в штампе.

Аналитический метод анализа и прогнозирования точности поковок впервые был предложен в 70-е годы прошлого столетия Е.Н. Ланским [7]. Применив системный анализ к процессу штамповки, он исследовал влияние на точность высотных размеров штампуемых поковок всех элементов технологической системы кривошипный пресс-штамп – поковка. Подобную методику автор использовал для обоснования рациональной

жесткости проектируемых кривошипных прессов для ХОШ. Однако, решая такую задачу, Е.Н. Ланской ограничился анализом влияния абсолютных величин случайных погрешностей на абсолютную погрешность высоты поковок и не учитывал влияния систематической постоянной погрешности регулирования основного параметра пресса – погрешности наладки [6]. К сожалению, за исключением монографии Л.Б. Аксенова, такая методика не получила широкого применения [1]. Законченная и целостная методика системного подхода к точности с применением теории чувствительности систем изложена в работах [2, 4]. В них впервые для анализа и прогнозирования достижимой точности операций объемной штамповки в качестве критериев точности предложены функции чувствительности и их численные показатели – коэффициенты преобразования исходных погрешностей в погрешность высотных размеров поковок. Они позволяют не только количественно оценить величину погрешности высоты поковок, но и установить степень влияния жесткости системы пресс-штамп и жесткости штампуемых поковок на указанную погрешность с учетом особенностей технологической операции и характера действующих погрешностей.

С использованием изложенной методики выполнен анализ точности таких операций ХОШ, как обратное выдавливание стаканов, осадка и калибровка, а также штамповка в закрытых штампах [3, 4]. Вместе с тем следует отметить, что имеются технологические операции, для которых подобный анализ не выполнен. К таким операциям прежде всего следует отнести весьма распространенную операцию штамповки прямым выдавливанием и комбинированную – закрытую осадку с выдавливанием. Эти операции применяют для изготовления стержневых изделий с фланцами. Исходя из изложенного, сформулирована цель выполненных исследований.

Постановка задачи

Цель выполненной работы – на основе системного анализа с применением функций чувствительности оценить величину погрешностей высотных размеров поковок, изготавливаемых прямым выдавливанием, а также установить степень влияния жесткости системы пресс-штамп и жесткости штампуемых поковок на указанные погрешности поковок с учетом характера действующих исходных погрешностей.

Решение задачи

В соответствии с [2] для технологической операции прямого выдавливания, без сохранения объема заготовки в полости штампа, исходная математическая модель деформирования технологической системы может быть представлена в виде равенства сил, действующих на упругие звенья системы и пластически деформируемую поковку:

$$C(h-H)-P(h,\sigma_S,\mu,D,d)=0, \qquad (1)$$

где C – жесткость системы пресс-штамп; H – размер между рабочим торцом пуансона и дном матрицы без приложения деформирующей силы и обеспечивающий при штамповке получение высоты фланца h; P – сила сопротивления поковки деформированию; D, d и h – размеры поковки (рис. 1); σ_S – напряжение текучести упрочняемого материала поковки с учетом интенсивности упрочнения; μ – коэффициент контактного трения.

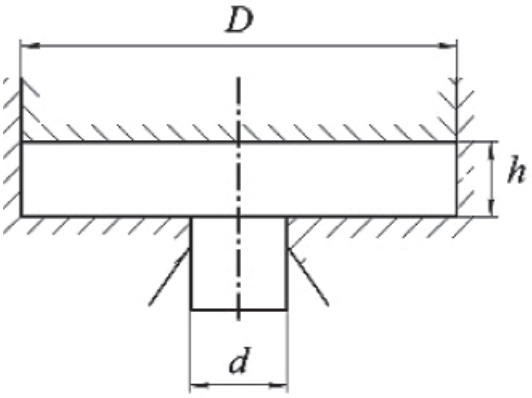


Рис. 1. Деформируемая поковка

Полагая, что функция (1) дифференцируема, параметры h, σ_S, μ, D и d взаимонезависимы, а погрешности параметров существенно малы, после дифференцирования (1) и замены дифференциалов малыми приращениями параметров получим выражения для функций чувствительности:

$$K_\sigma=\frac{\delta h}{\delta\sigma}=\frac{\partial P/\partial\sigma}{C-\partial P/\partial h}\cdot\frac{\sigma}{h}; \qquad (2)$$

$$K_\mu=\frac{\delta h}{\delta\mu}=\frac{\partial P/\partial\mu}{C-\partial P/\partial h}\cdot\frac{\mu}{h}; \qquad (3)$$

$$K_H=\frac{\Delta h}{\Delta H}=\frac{C}{C-\partial P/\partial h}, \qquad (4)$$

где δh и Δh – относительная и абсолютная величина погрешности высоты фланца; $\delta\sigma$ и $\delta\mu$ – относительные погрешности напряжения текучести материала и коэффициента трения; ΔH – абсолютная погрешность наладки; $\partial P/\partial h$ – жесткость штампуемой

поковки; $\partial P/\partial\sigma$ и $\partial P/\partial\mu$ – частные производные функции (1) по соответствующим параметрам.

K_σ, K_μ и K_H – функции чувствительности высотного размера поковок к возможному изменению исходных параметров. Численные значения функций чувствительности показывают, какая часть погрешностей исходных параметров ($\delta\sigma$, $\delta\mu$ и ΔH) преобразуется в погрешность высоты фланцев (δh или Δh). Далее в тексте будем обозначать K_σ, K_μ и K_H как коэффициенты преобразования.

Для анализа точности операции прямого выдавливания на заключительной, нестационарной стадии, когда высота фланцев меньше высоты очага пластической деформации, примем, что функция силы выдавливания определяется по формуле [5]:

$$P = 1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot\left[\left(2+\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h}+\frac{h}{2\cdot d}\right)\cdot\frac{D-d}{D}+\frac{(2\cdot\mu+1)\cdot h}{2\cdot D}\right]. \quad (5)$$

Максимальная высота фланцев ограничена величиной, определяемой по формуле

$$h_0 = \frac{D-d}{2}\cdot\sqrt{\frac{(2\cdot\mu+1)\cdot d}{D-d+(2\cdot\mu+1)\cdot d}}.$$

Если сила выдавливания задана (5), тогда функции чувствительности с учетом (2), (3) и (4) получат вид

$$K_\sigma = \frac{\delta h}{\delta\sigma} = \frac{1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4\cdot h}\cdot\left[\left(2+\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h}+\frac{h}{2\cdot d}\right)\cdot\frac{D-d}{D}+\frac{(2\cdot\mu+1)\cdot h}{2\cdot D}\right]}{C+1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot\left[\left(\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h^2}-\frac{1}{2\cdot d}\right)\cdot\frac{D-d}{D}-\frac{(2\cdot\mu+1)}{2\cdot D}\right]}; \quad (6)$$

$$K_\mu = \frac{\delta h}{\delta\mu} = \frac{1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4\cdot h}\cdot\left[\left(\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h}\right)\cdot\frac{D-d}{D}+\frac{\mu}{D}\right]}{C+1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot\left[\left(\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h^2}-\frac{1}{2\cdot d}\right)\cdot\frac{D-d}{D}-\frac{(2\cdot\mu+1)}{2\cdot D}\right]}; \quad (7)$$

$$K_H = \frac{\Delta h}{\Delta H} = \frac{C}{C+1{,}15\cdot\sigma_S\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot\left[\left(\frac{\mu\cdot(D-d)}{2\cdot h^2}-\frac{1}{2\cdot d}\right)\cdot\frac{D-d}{D}-\frac{(2\cdot\mu+1)}{2\cdot D}\right]}. \quad (8)$$

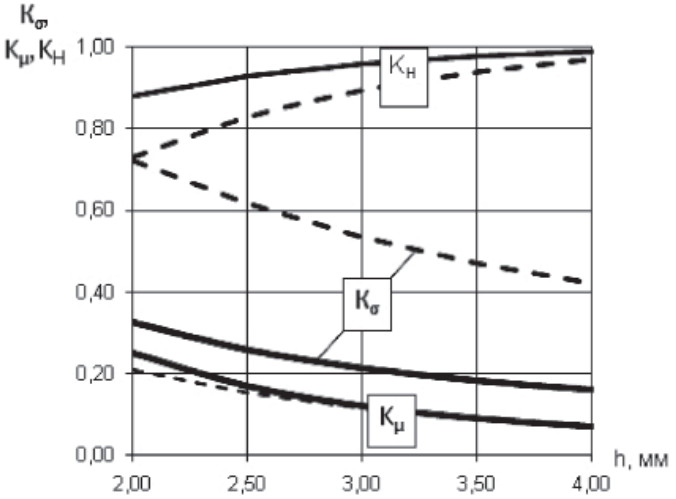


Рис. 2. Зависимость коэффициентов K_σ, K_μ и K_H от высоты фланцев (h) и напряжения текучести материала поковок (σ_S = 150 МПа – сплошная линия; σ_S = 400 МПа – прерывистая линия; D = 25 мм, d = 5мм, C = 300 кН/мм)

В формулах (6), (7) и (8) следует обратить внимание на второе слагаемое в знаменателях, характеризующее жесткость штампуемых поковок $\left(\partial P/\partial h\right)$. Это важнейший параметр силового режима, влияющий на показатели точности высотного размера штампуемых поковок. Как следует из анализа формул, жесткость возрастает с увеличением напряжения текучести материала поковок, отношения D/d, коэффициента трения и уменьшения высоты фланца (h). Жесткость выдавливаемых поковок даже с большим отношением D/d почти на порядок меньше жесткости системы пресс-штамп универсального пресса номинальной силой 1000 кН (C = 300 кН/мм). Например, для поковки с размерами: D = 25 мм, d = 5 мм и h = 2 мм (μ = 0,3) из сплава АД1 (σ_S = 150 МПа) при силе выдавливания 269 кН ее жесткость составит 41,3 кН/мм. При выдавливании поковки аналогичных размеров из меди М1 (σ_S = 400 МПа) сила выдавливания равна 718 кН, а жесткость 110 кН/мм. Легко заметить, исходя из приведенных данных, что величина коэффициента K_H, характеризующая погрешность наладки, близка к 1,0.

Влияние жесткости выдавливаемых поковок на величину коэффициентов преобразования показано на рис. 2.

Графики на рисунке отражают зависимость коэффициентов преобразования для поковок из меди М1 (σ_S = 400 МПа) и сплава АД1 (σ_S = 150 МПа), штампуемых на кривошипном прессе (C = 300 кН/мм). Видно, что с увеличением жесткости поковок при уменьшении их высоты от 4 до 2 мм коэффициенты преобразования случайных погрешностей K_σ и K_μ увеличиваются, а коэффициент преобразования систематической постоянной погрешности (погрешность наладки) K_H уменьшается.

Так как жесткость поковок по сравнению с жесткостью пресса со штампом относительно мала, то это обстоятельство, как уже указывалось, объясняет высокую чувствительность высоты поковок к погрешности наладки. Это значит, что практически вся погрешность регулирования (ΔH) переносится на изменение высоты поковки (Δh). Пропорциональная зависимость жесткости поковок от напряжения текучести материала приводит к тому, что с повышением этого показателя механических свойств возрастает величина коэффициента K_σ и уменьшается величина коэффициента K_H.

Располагая величинами коэффициентов преобразования, о величине единичных погрешностей высоты поковки (δh_σ, δh_μ и δh_H) можно судить, только зная величину исходных погрешностей ($\delta\sigma$, $\delta\mu$ и δH). Используя данные, содержащиеся в справочной литературе, можно для анализа принять: $\delta\sigma$ = 10%, $\delta\mu$ = 5% и ΔH = 0,1 мм. Последний показатель (погрешность наладки) присущ специальным прессам для холодного выдавливания.

Для указанных исходных погрешностей выполнен расчет относительных величин элементарных погрешностей выдавливаемых поковок из меди М1 (D = 25 мм, d = 5 мм и h = 2 мм).

На рис. 3 в виде графиков представлена зависимость величины единичных погрешностей высоты фланцев выдавливаемых поковок от жесткости системы пресс-штамп, которая может изменяться в достаточно широком диапазоне от 200–300 кН/мм у универсальных прессов до 400–600 кН/мм у специальных для холодного выдавливания с номинальной силой 1000 кН.

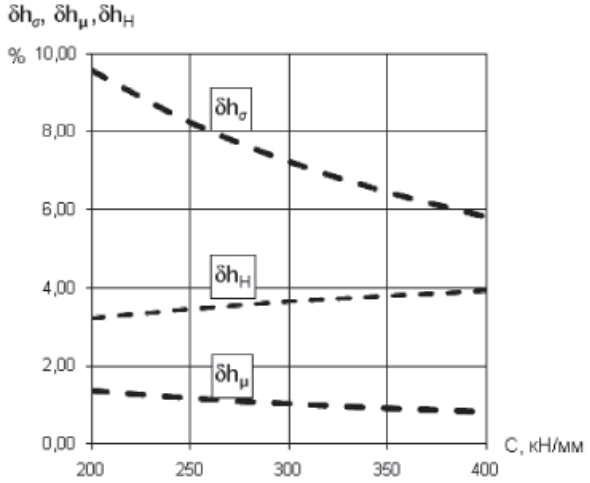


Рис. 3. Зависимость единичных погрешностей высоты фланца (h = 2 мм) от жесткости системы пресс-штамп (C) (D = 25 мм, d = 5 мм, μ = 0,3, σS = 400 МПа)

Из анализа графиков на рис. 3 видно, что доминирующей погрешностью высоты фланцев при выдавливании поковок из меди М1 является погрешность, обусловленная возможным разбросом (рассеянием) механических свойств (δh_σ). Влияние погрешности наладки значительно меньше, чем доминирующая (δh_σ), и более чем в 2…3 раза превышает погрешность, вызванную возможным изменением условий трения в штампе вследствие увеличения шероховатости его поверхности.

Следует отметить, что доминирование погрешности δh_{σ_S} вызвано достаточно большим значением напряжения текучести меди М1. Расчеты показывают, что, например, для $\sigma_S = 150$ МПа (АД1) изменяется соотношение погрешностей δh_H и δh_{σ_S} таким образом, что их величины становятся соизмеримыми.

Анализируя графики на рис. 3, можно также сделать вывод о влиянии жесткости системы пресс-штамп (в дальнейшем – жесткости пресса) на величину погрешностей высоты поковок: увеличение жесткости пресса, выбором пресса с большей жесткостью, способствует уменьшению влияния случайных погрешностей (δh_σ и δh_μ) и увеличению влияния систематической постоянной погрешности наладки (ΔH). Однако, как видно из хода кривых на рис. 3, степень такого влияния увеличения жесткости пресса зависит от типа погрешности. В частности, видно, что наибольшее влияние увеличения жесткости пресса сказывается на величине случайных погрешностей ($\delta\,\sigma_S$ и $\delta\mu$) и значительно меньше влияет на увеличение погрешности наладки.

Выводы

1. С применением функций чувствительности выполнена оценка величины ожидаемых погрешностей высотных размеров поковок, изготавливаемых штамповкой прямым выдавливанием, а также установлена степень влияния жесткости системы пресс-штамп и жесткости штампуемых поковок на указанные погрешности поковок с учетом характера исходных погрешностей.

2. На основе выполненного анализа установлено влияние жесткости штампуемых поковок на погрешность их высотных размеров. С увеличением жесткости поковок возрастает влияние на погрешность высоты фланцев случайных погрешностей, вызванных рассеянием механических характеристик материала поковок и возможных изменений условий контактного трения в штампе. Увеличение жесткости поковок приводит к уменьшению влияния систематической постоянной погрешности регулирования основного параметра пресса – погрешности наладки.

3. На основе анализа определено, что повышение жесткости системы пресс-штамп применением прессов большей жесткости уменьшает влияние случайных погрешностей на погрешность высоты поковок и приводит к увеличению влияния систематической постоянной погрешности регулирования – погрешности наладки.

Список литературы

1. Аксенов Л.Б. Системное проектирование процессов штамповки. – Л.: Машиностроение, 1990. – 239 с.

2. Антонюк Ф.И. Анализ и обеспечение высокой точности холодной объемной штамповки на прессах научно обоснованным выбором жесткости элементов технологической системы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук – М., 2004.

3. Антонюк Ф.И. Сравнительная оценка эффективности способов повышения точности холодной объемной штамповки на основе статистических методов анализа // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2006. – № 12. – С. 19–23.

4. Антонюк Ф.И., Ланской Е.Н. Точность холодной объемной штамповки на кривошипных прессах в штампах с упорами и без упоров. Часть 2. Обратное выдавливание и штамповка в закрытом штампе // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2004. – № 1. – С. 19–29.

5. Антонюк Ф.И., Малышев А.Н., Логутенкова Е.В. Деформирующие силы при формообразовании фланцев на стержнях закрытой осадкой с выдавливанием // Заготовительные производства в машиностроении. – 2014. – № 8. – С. 19–22.

6. Ланской Е.Н. Влияние жесткости процесса штамповки на точность // Повышение точности и автоматизация штамповки и ковки. – М.: Машиностроение, 1967. – С. 21–30.

7. Ланской Е.Н. Общий метод анализа жесткости прессов для объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. – 1969. – № 5. – С. 29–32.

8. Холодная объемная штамповка: Справочник / под ред. Г.А. Навроцкого – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.

References

1. Aksenov L.B. Sistemnoe proektirovanie processov shtampovki. L.: Mashinostroenie, 1990. 239 p.

2. Antonjuk F.I. Analiz i obespechenie vysokoj tochnosti holodnoj obemnoj shtampovki na pressah nauchno obosnovannym vyborom zhestkosti jelementov tehnologicheskoj sistemy: avtoref. dis. dokt. tehn. nauk/ M., 2004.

3. Antonjuk F.I. Sravnitel'naja ocenka jeffektivnosti sposobov povyshenija tochnosti holodnoj ob#emnoj shtampovki na osnove statisticheskih metodov analiza // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 2006. no. 12. pp. 19–23.

4. Antonjuk F.I., Lanskoj E.N. Tochnost' holodnoj obemnoj shtampovki na krivoshipnyh pressah v shtampah s uporami i bez uporov. Chast' 2. Obratnoe vydavlivanie i shtampovka v zakrytom shtampe // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. 2004. no. 1. pp. 19–29.

5. Antonjuk F.I., Malyshev A.N., Logutenkova E.V. Deformirujushhie sily pri formoobrazovanii flancev na sterzhnjah zakrytoj osadkoj s vydavlivaniem // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2014. no. 8. pp. 19–22.

6. Lanskoj E.N. Vlijanie zhestkosti processa shtampovki na tochnost' // Povyshenie tochnosti i avtomatizacija shtampovki i kovki. M.: Mashinostroenie, 1967. pp. 21-30.

7. Lanskoj E.N. Obshhij metod analiza zhestkosti pressov dlja obemnoj shtampovki // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1969. no. 5. pp. 29–32.

8. Holodnaja obemnaja shtampovka: Spravochnik / Pod red. G.A. Navrockogo M.: Mashinostroenie, 1973. 496 p.

Рецензенты:

Астахов М.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», Калужский филиал, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Калуга;

Шаталов В.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии обработки материалов», Калужский филиал, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Калуга.

Работа поступила в редакцию 12.02.2015.

УДК 629.113.004

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Баженов Ю.В., Баженов М.Ю.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет», Владимир, e-mail: bagenovyv@mail.ru

Приведены результаты исследований по определению остаточного ресурса конструктивных элементов автомобиля. Показано, что в отличие от стадии проектирования, когда прогнозируется ресурс всей генеральной совокупности создаваемых автомобилей данной модели, прогнозирование на стадии эксплуатации выполняется индивидуально для конкретных автотранспортных средств, их агрегатов и узлов. Прогнозирование остаточного ресурса предусматривает построение аналитических уравнений, описывающих изменение выбранных для оценки технического состояния объекта диагностических параметров и обоснование их нормативных значений. Определение остаточного ресурса объекта осуществляется сравнением текущих на момент прогнозирования значений диагностических параметров с их предельными или допустимыми нормативами. Методика прогнозирования рассмотрена на примере цилиндропоршневой группы силового агрегата автомобиля.

Ключевые слова: прогнозирование, остаточный ресурс, автомобиль, диагностирование

FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF MOTOR VEHICLE'S CONSTRUCTIVE ELEMENTS UNDER OPERATING CONDITIONS

Bazhenov Y.V., Bazhenov M.Y.

Vladimir State University, Vladimir, e-mail: bagenovyv@mail.ru

The results of researches on residual resource's determination of motor vehicle's constructive elements has presented. It has shown that unlike a design stage when the resource of all population of the created cars of this model has predicted, forecasting for stages of operation has carried out individually for concrete vehicles, their assembly and units. Forecasting of a residual resource provides creation of the analytical equations describing change of the diagnostic parameters chosen for an assessment of technical condition of object and justification of their standard values. Determination of a residual resource of object has carried out by comparison of the values of diagnostic parameters flowing at the time of forecasting with their limit or admissible standards. The technique of forecasting has considered on the example of cylinder-piston group of the power unit of the motor vehicle.

Keywords: forecasting, residual resource, motor vehicle, diagnosing

На начальной стадии создания автомобиля (проектирование и конструирование) оценку его ресурса осуществляют в основном по результатам конструкторских расчетов и статистических данных об его аналогах. Прогнозируемый при этом ресурс является заданной величиной, соответствующей некоторой вероятности, с которой ресурс должен быть реализован в эксплуатации.

В реальных условиях эксплуатации ресурс автомобиля из-за воздействия на него множества случайных факторов варьирует в довольно широких пределах (рис. 1) и характеризуется дифференциальной функцией распределения наработок до предельного состояния $f(t)$. Поэтому на стадии проектирования в качестве прогнозируемого ресурса в технической документации указывается некоторый средний ресурс $t_{ср}$ – математическое ожидание наработки автомобиля до предельного состояния $Y_{пр}$.

Предельного состояния автомобиль достигает в момент пересечения реализацией $Y(t)$ уровня $Y_{пр}$, устанавливаемого нормативно-технической документацией. Фактические моменты достижения объектами этого состояния могут существенно различаться в зависимости от их индивидуальных свойств и условий эксплуатации. Поэтому ресурс объекта следует считать случайной величиной, он может быть описан только вероятностными моделями. В качестве такой модели обычно используется плотность распределения наработок объекта до предельного состояния. В этом случае теоретическое значение среднего ресурса автомобиля от начала его эксплуатации до его списания может быть определено из выражения

$$t_{ср} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)\,dt,$$

где $f(t)$ – плотность распределения наработки до предельного состояния.

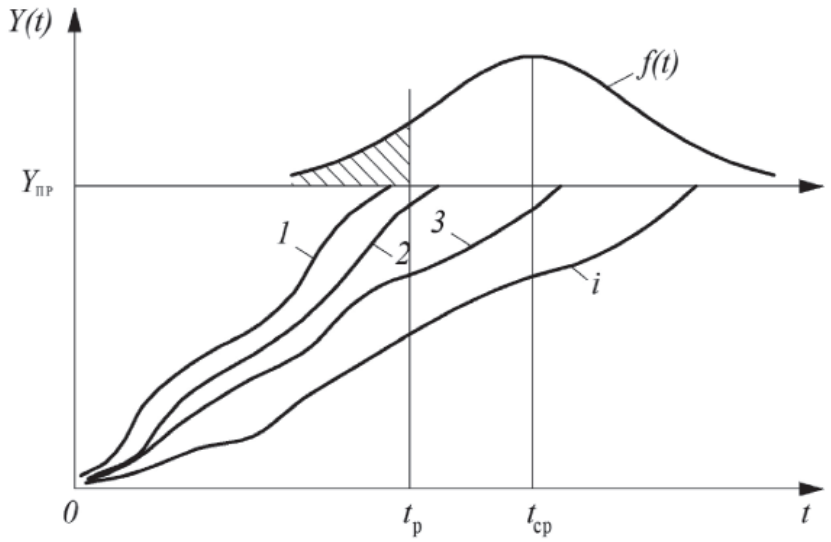


Рис. 1. Графическая интерпретация реализации автомобилем прогнозируемого ресурса

Для некоторых изделий, к которым предъявляются повышенные требования к безотказности, в качестве прогнозируемого ресурса может быть использован гамма-процентный ресурс t_γ, т.е. значение ресурса, обеспеченного с заданной вероятностью γ. При известной функции распределения ресурса γ – процентный ресурс находится из выражения

$$1-\int_0^{t_\gamma} f(t)dt=\frac{\gamma}{100}.$$

Существенным недостатком использования в качестве прогнозируемого гамма-процентного ресурса является то, что как показывает практика, наработки реальных объектов до предельного состояния значительно выше. В результате при использовании стратегии технического обслуживания и ремонта по наработке приводит к значительному недоиспользованию заложенных в них при проектировании и производстве индивидуальных ресурсов большинства изделий.

В отличие от стадии проектирования, когда прогнозируется ресурс всей генеральной совокупности создаваемых автомобилей, прогнозирование на стадии эксплуатации выполняют для конкретных автотранспортных средств (АТС), их агрегатов и узлов. В этом случае оценивается индивидуальный остаточный ресурс объекта, т.е. возможная продолжительность его эксплуатации от момента контроля технического состояния до достижения им предельного состояния. Отличается он от ресурса тем, что в качестве начала отсчета принимается текущая наработка, до которой объект уже какое-то время эксплуатировался, и часть установленного технической документацией ресурса уже реализовал.

Достижение автомобилем предельного состояния, соответствующего исчерпанию его ресурса, сводится не только к физическому износу. Оно может быть обусловлено также влиянием факторов функционального устаревания, недопустимости дальнейшей эксплуатации по требованиям безопасности, экономичности и эффективности. Поэтому установить точные признаки и параметры, при которых состояние автомобиля следует квалифицировать как предельное, представляет довольно сложную задачу. Обычно основанием для списания автомобилей служит резкое увеличение интенсивности отказов, продолжительности простоев из-за необходимости их устранения, расходов на проведение ремонтных работ.

Для надежного прогнозирования остаточного ресурса автомобиля необходимо выполнить его полнокомплектное техническое диагностирование с использованием соответствующих средств диагностики. Это требует больших затрат, из-за чего в практике технической эксплуатации автотранспортных средств за исключением случаев, когда оцениваются единичные и дорогостоящие автомобили, не находит применения. В условиях реальной эксплуатации АТС при проведении технических обслуживаний и ремонтов чаще всего оценивается остаточный ресурс их узлов, агрегатов и механизмов.

Современные методы прогнозирования технического состояния объектов подразделяются на три основные группы.

1. Методы экспертных оценок, сущность которых сводится к обобщению, статистической обработке и анализу мнений специалистов. Эксперты обосновывают свою точку зрения на собственном опыте, литературных данных, анализе эксплуатационной надежности узлов и механизмов автомобилей и т.д.

2. Методы моделирования, базирующиеся на основных положениях теории подобия, формировании модели изучаемого объекта, проведении экспериментальных исследований и пересчете полученных показателей с модели на натуральный объект.

3. Статистические методы, из которых наиболее широкое распространение получил метод экстраполяции.

Наиболее достоверными при прогнозировании индивидуального остаточного ресурса автомобиля в условиях эксплуатации являются статистические методы, основанные на объективной оценке его технического состояния в текущий момент времени. Процесс прогнозирования с использованием статистических методов предусматривает выполнение следующих этапов:

– оценку технического состояния объекта с помощью диагностического и контрольно-измерительного оборудования;

– разработку аналитического уравнения, описывающего закономерности изменения этого состояния во времени или по наработке;

– экстраполяцию полученного уравнения и определение остаточного ресурса или сроков выполнения очередного контроля технического состояния объекта.

При прогнозировании непосредственно измерить остаточный ресурс объекта практически невозможно. Поэтому необходимо определить аналоговый диагностический параметр или комплекс таких параметров, которые адекватно отражают техническое состояние объекта и реализацию его ресурса по наработке. Для агрегатов автомобиля это могут быть параметры эффективности функционирования (мощность, крутящий момент, расход топлива и др.), геометрические параметры (люфты, зазоры) и параметры сопутствующих процессов (герметичность рабочих объемов, вибрации, физико-химический состав отработавших эксплуатационных материалов и т.д.).

Исчерпание заложенного при проектировании ресурса (наступление предельного состояния) обусловлено постепенным накоплением различных повреждений. Если не учитывать грубые ошибки при проектировании и эксплуатации, наступление предельного состояния автомобилей с некоторой условностью можно отнести к одной из двух групп:

– из-за чрезмерных износов трущихся поверхностей контактирующих деталей;

– из-за постепенного накопления в материалах конструктивных элементов рассеянных повреждений, приводящих к зарождению и развитию микроскопических трещин (усталость).

Развитие таких повреждений в материалах деталей, узлах и агрегатах в зависимости от времени или пробега носит плавный, монотонный характер, приводящий к возникновению так называемых постепенных отказов, поэтому с некоторой вероятностью может быть описано каким-либо аналитическим уравнением. Для постепенных отказов изменение параметра технического состояния конкретного изделия или среднего значения для группы изделий аналитически достаточно хорошо описывается двумя функциями:

– линейным уравнением

$$y = y_н + a_1 t;$$

– степенной функцией

$$y = y_н + a_1 t^b,$$

где t – наработка изделия; $y_н$ – начальное значение параметра технического состояния; a_1 – интенсивность изменения параметра технического состояния, зависящая от конструкции и условий эксплуатации; b – показатель степени, характеризующий изменение параметра y от t.

Изменение аналогового диагностического параметра по наработке для большинства узлов и агрегатов автомобиля описывается теми же функциями, что и параметры технического состояния. При прогнозировании остаточного ресурса силовой установки автомобиля, например, изменение диагностического параметра по наработке с достаточной степенью точности может быть описано степенной функцией

$$S = S_н + \upsilon t^{\alpha},$$

где $S_н$ – начальное значение диагностического параметра; υ – интенсивность изменения диагностического параметра по наработке; t – наработка изделия; α – показатель степени, определяющий зависимость диагностического параметра S от наработки t.

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 2.

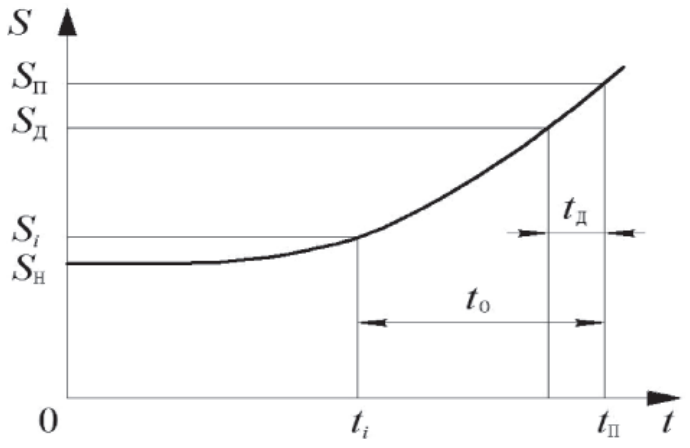


Рис. 2. Схема определения остаточного ресурса по реализации диагностического параметра: S_i, $S_н$, $S_п$ – текущее, номинальное и предельное значения диагностического параметра; t_i, $t_о$, $t_п$ – текущий, остаточный и полный ресурсы соответственно

Из приведенной схемы видно, что остаточный ресурс объекта $t_о$ представляет собой разность между полным ресурсом $t_п$, который соответствует предельному значению диагностического параметра $S_п$, и продолжительностью его эксплуатации, предшествующей прогнозируемому периоду t_i. Полный $t_п$ и остаточный $t_о$ ресурсы объекта после наработки t, предшествующей прогнозируемому периоду, при степенной зависимости диагностического параметра по наработке определяются из выражений

$$t_П = \sqrt[\alpha]{\frac{|S_п - S_н|}{\upsilon}};$$

$$t_О = t\left[\left(\frac{S_П - S_Н}{S_i - S_Н}\right)^{\frac{1}{a}} - 1\right],$$

где $S_н$, $S_п$ – номинальное и предельное значения диагностического параметра.

Для узлов и систем автомобиля, обеспечивающих безопасность движения или оказывающих отрицательное влияние на окружающую среду, значения номинального и предельного диагностических параметров устанавливаются нормативно-технической документацией заводов-изготовителей. Это, например, зазоры в различных сопряжениях, люфты, углы установки колес, давление в цилиндрах двигателя в конце такта сжатия и т.д.

Предельные значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние узлов и механизмов, для которых они не установлены документацией завода-изготовителя, определяются с помощью статистического метода. Сущность метода заключается в том, что по результатам обследования представительной партии диагностируемого объекта строится гистограмма распределения оценивающих его значений диагностического параметра, аппроксимирующая ее теоретическая кривая и по заданному уровню вероятности безотказной работы P (0,85 или 0,95) находится его предельный норматив [1, 5].

Номинальное значение диагностического параметра $S_н$ определяет исходное состояние объекта и соответствует новым, технически исправным машинам, агрегатам, узлам. Оно может быть задано техническими условиями (тормозной путь, люфт рулевого колеса, схождение и развал колес и др.) или найдено как средняя величина для данной совокупности объектов. Значения показателя α определяются опытным путем для различных сопряжений механизмов на основе обработки статистического материала и представляют собой некоторые усредненные величины для построения функции изменения диагностического параметра по наработке.

Определение остаточного ресурса рассмотрим на примере двигателя ЗМЗ-4063.10. Для оценки его технического состояния были выбраны следующие диагностические параметры: давление в конце такта сжатия; значение относительных утечек воздуха при положении поршня в ВМТ; расход картерных газов при 4000 мин$^{-1}$; значение давления в главной масляной магистрали. Использование других диагностических параметров приводит к значительному усложнению процесса диагностирования.

Нормативные значения параметров диагностирования технического состояния ЦПГ и показателя α для этих параметров

№ п/п	Диагностический параметр	Номинальное значение	Предельное значение	Показатель α
1	Давление в конце такта сжатия, кгс/см^2	12	9,6	1,3
2	Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ, кг/см^2 в течение не менее 5 с	Снижение с 1,5 до 1,0	Снижение с 1,5 до 0,75	1,6
3	Расход картерных газов при 4000 мин$^{-1}$, л/мин не более	22	62	1,5
4	Давление в главной масляной магистрали при 2500 мин$^{-1}$, кгс/см^2	5,0	3,0	1,4

В таблице приведены установленные техническими условиями завода-изготовителя нормативные значения этих параметров, а также значения показателя α, найденные по результатам экспериментальных исследований технического состояния цилиндропоршневой группы двигателей.

Остаточный ресурс цилиндропоршневой группы двигателя рассчитываем по каждому диагностическому параметру на пробеге 165 тыс. км и в качестве искомого принимаем его минимальное значение. По результатам выполненных контрольно-диагностических операций были получены следующие значения диагностических параметров после этой наработки:

- давление в конце такта сжатия, кгс/см^2 – 10,8;
- Относительная утечка воздуха при положении поршня в ВМТ в течение 5 с с 1,5 кгс/см^2 – 0,88;
- Расход картерных газов при 4000 мин$^{-1}$, л/мин – 41,0;
- Давление в главной масляной магистрали при 2500 мин$^{-1}$, кгс/см^2 – 3,90.

Прогнозируемый остаточный ресурс ЦПГ двигателя по давлению в конце такта сжатия до достижения предельного состояния будет равен

$$t_{\text{о}} = 165\left[\left(\frac{9{,}6-12}{10{,}8-12}\right)^{\frac{1}{1{,}3}} - 1\right] = 123 \text{ тыс. км.}$$

По остальным диагностическим параметрам рассчитанные значения остаточного ресурса ЦПГ составят:

– по относительной утечке воздуха 113 тыс. км;

– по расходу картерных газов 106 тыс. км;

– по давлению в главной масляной магистрали 88 тыс. км;

В результате выполненных расчетов прогнозируемый остаточный ресурс ЦПГ принимает минимальное значение по параметру «давление в главной масляной магистрали», в соответствии с которым $t_{\text{о}}$ = 88 тыс. км.

В условиях эксплуатации диагностирование автомобилей выполняют в основном при проведении плановых технических обслуживаний (ТО). В этом случае задача прогнозирования остаточного ресурса заключается в определении возможности их безотказной работы на наработке до выполнения очередного ТО. Если значение остаточного ресурса $t_{\text{о}} > t_{\text{Д}}$, состояние диагностируемого механизма обеспечит его исправную работу до очередного ТО. В случае, если значение остаточного ресурса $t_{\text{о}}$ меньше установленной периодичности диагностирования $t_{\text{Д}}$, двигатель следует изъять из эксплуатации и направить в ремонт.

Процедуру прогнозирования можно упростить, заменив предельное значение диагностического параметра $S_{\text{п}}$ допустимым нормативом $S_{\text{д}}$, который определяется из выражения

$$S_{\text{д}} = S_{\text{п}} - t_{\text{Д}}.$$

Прогнозирование остаточного ресурса, т.е. оценка запаса исправной работы, является важнейшим элементом в системе управления техническим состоянием автомобилей и его конструктивных элементов в эксплуатации. Отклонение значений диагностических параметров за допустимые пределы, вызываемые возникновением различных повреждений в элементах автомобиля, служит основой для принятия решения о проведении необходимых технических воздействий для восстановления работоспособности.

Список литературы

1. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин: учеб. пособие. – М.: Изд-во ФОРУМ, 2014. – 320 с.

2. Баженов Ю.В. Оценка надежности автомобилей по результатам эксплуатационных испытаний // Актуальные проблемы эксплуатации автомобильного транспорта: материалы 15-й международной научно-практической конференции (Владимир, 20–22 ноября 2013 г.). – Владимир, 2013. – С. 23–26.

3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

4. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.

5. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.

6. Справочник. Надежность в машиностроении / под общ. ред. В.В. Шашкина и Г.П. Карзова. – СПб.: Политехника, 1992. – 719 с.

References

1. Bazhenov Ju.V. Osnovy teorii nadezhnosti mashin: ucheb. posobie. M.: Izd-vo FORUM, 2014 320 p.

2. Bazhenov Ju.V. Ocenka nadezhnosti avtomobilej po rezul'tatam jekspluatacionnyh ispytanij // Aktual'nye problemy jekspluatacii avtomobil'nogo transporta: materialy 15-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Vladimir, 20–22 nojabrja 2013 g.). Vladimir, 2013 pp. 23–26.

3. Bolotin V.V. Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij. M.: Mashinostroenie, 1984. 312 p.

4. Zorin V.A. Osnovy rabotosposobnosti tehnicheskih sistem: uchebnik dlja vuzov. M.: OOO «Magistr-Press», 2005 536 p.

5. Miroshnikov L.V., Boldin A.P., Pal V.I. Diagnostirovanie tehnicheskogo sostojanija avtomobilej na avtotransportnyh predprijatijah. M.: Transport, 1977. 263 p.

6. Spravochnik. Nadezhnost' v mashinostroenii / Pod obshh. red. V.V. Shashkina i G.P. Karzova. SPb.: Politehnika, 1992. 719 p.

Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки», Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир;

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, главный специалист, ООО «Завод инновационных продуктов» КТЗ, г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 621.762

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА КАРБОНИЛЬНОГО ЖЕЛЕЗА

[1]Беляев Е.С., [1]Колосова Т.М., [2]Алексеев В.А., [1]Макаров Н.В., [1]Гетмановский Ю.А.

[1]ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: yaneck@bk.ru;

[2]ООО «Научно-производственное предприятие «Молот», Павлово, e-mail: molot-npp@yandex.ru

Установлено влияние содержания стеклянного наполнителя с размером частиц менее 63 мкм на предел прочности и микротвердость металлостеклянного материала на основе порошка восстановленного карбонильного железа ВК-1. С помощью методов математического планирования был разработан полный факторный эксперимент по плану 2^2. В качестве факторов, влияющих на физико-механические свойства материалов, были приняты: содержание углерода в металлической матрице и концентрация стеклянного наполнителя. Получены уравнения регрессии первого порядка для предела прочности при растяжении и микротвердости. Показано, что с увеличением содержания порошка стекла прочность металлостеклянного материала уменьшается, а микротвердость повышается. Проведен микроструктурный анализ полученных материалов. Материал имеет гетерогенную микроструктуру, состоящую из металлической матрицы и оплавленных частиц стеклянного наполнителя, окруженных переходной зоной из файялита. Структура металлической матрицы – феррит с небольшим количеством тонкопластинчатого и сорбитообразного перлита. Зафиксировано частичное выгорание графита из материала в процессе спекания.

Ключевые слова: порошковая металлургия, металлостеклянные материалы, структура и свойства порошковых материалов

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF CARBONYLE-IRON-POWDER-BASED METAL-GLASS MATERIALS

[1]Belyaev E.S., [1]Kolosova T.M., [2]Alekseev V.A., [1]Makarov N.V., [1]Getmanovskiy Y.A.

[1]Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhiny Novgorod, e-mail: yaneck@bk.ru;

[2]Research and Production Enterprise «Molot», Pavlovo, e-mail: molot-npp@yandex.ru

Effects of the glass filler content with a particle size less than 63 μm on tensile strength as well as the microhardness of reduced-carbonyl-iron-powder(VK-1)-based metal-glass material are stated. Mathematical planning approaches are used to develop a complete factorial experiment according to the approach 2^2. The carbon content in a metal matrix and the glass filler concentration are taken into account as factors influencing on the physical and mechanical properties of materials. The tensile strength and microhardness first-order regression equations are obtained. Powder increase is shown to result in stress reduction of a metal-glass material and microhardness increase. A microstructure analysis of manufactured materials is carried out. The material has a heterogeneous microstructure consisting of a metal matrix and glass filler fire-polished participles surrounded by a transition zone from fayalite. A metal matrix microstructure consists of ferrite with a small amount of thin-platy, sorbitic pearlite. Partial burn-up of graphite in the sintering process is found out.

Keywords: powder metallurgy, metal-glass materials, structure and properties of powder materials

Разработка износостойких материалов является одной из приоритетных задач современного материаловедения. Износостойкость в основном зависит от значения коэффициента трения и твердости материала. Твердость металлического материала можно увеличить различными способами обработки [2, 3, 4] или изготавливать материал, обладающий гетерогенной структурой с твердым наполнителем. Частицы наполнителя выступают в качестве несущих включений, снижают склонность к схватыванию, обладают высокой твердостью, а также в ряде случаев имеют более низкий коэффициент трения по сравнению с матрицей [5, 6, 7].

Методы порошковой металлургии позволяют получать функциональные, износостойкие, гетерогенные, ресурсосберегающие материалы с заданными свойствами, способные удовлетворять возрастающим требованиям, которые предъявляются к деталям машин [1, 6, 7].

Представляют интерес порошковые металлостеклянные материалы, полученные холодным прессованием шихты и спеканием. Такие материалы способны работать в условиях отсутствия смазки и вакууме, обладают высокими физико-механическими и антифрикционными свойствами, имеют низкую стоимость по сравнению с инструментальными легированными сталями [5, 6].

В настоящей работе исследованы структура и свойства материалов на основе порошка восстановленного карбонильного

железа с добавками графита и порошка тарного стекла. Показано влияние твердого наполнителя на прочность и микротвердость металлостеклянного материала.

Материалы и методы исследований

Для исследования влияния твердого наполнителя и его количества на прочность и микротвердость материала был проведен полный факторный эксперимент по плану 2^2. При разработке матрицы планирования эксперимента были поставлены следующие задачи: изучение процесса структурообразования при различном содержании углерода и закономерности изменения механических свойств в зависимости от количества стеклянного наполнителя с размерами частиц менее 63 мкм. В табл. 1 представлены уровни факторов и интервалы их изменения при исследовании металлостеклянного материала.

Основа исходной шихты – порошок восстановленного карбонильного железа марки ВК-1 ТУ 2436-005-74439740-14. Гранулометрический и химический состав порошка представлен в табл. 2. Содержание углерода обеспечивалось введением в шихту графита карандашного марки ГК-1 ГОСТ 4404-78. Порошок стекла получали размолом стеклобоя в шаровой мельнице в течение 10 часов. От полученного порошка были отсеяны частицы размером менее 63 мкм. Порошки железа и графита также подвергались отсеву через сито с размерами ячейки 63 мкм.

Содержание углерода в шихте было выбрано таким образом, чтобы охватить диапазон широко используемых машиностроительных сталей от углеродистой конструкционной стали 40 до углеродистой инструментальной стали У7. Содержание стекла выбиралось из расчета его объемного содержания в материале от 7 до 32 об.%. Объемное содержание переведено в массовое, исходя из плотности компонентов (плотность стекла – 2500 кг/м^3). Матрица планирования эксперимента, предел прочности при растяжении и микротвердость приведены в табл. 3.

Таблица 1

Уровни факторов при исследовании металлостеклянных материалов

Исходные данные	Кодированное значение факторов x_i	Натуральные значения факторов	
		Содержание углерода, %	Содержание стекла, %
		$x_{1\ \text{Нат.}}$	$x_{2\ \text{Нат.}}$
Основной уровень $x_{i\,0}$	0	0,55	7,75
Интервал изменения Δx_i	–	0,15	5,5
Верхний уровень $x_{i\,0} + \Delta x_i$	+ 1	0,7	13,25
Нижний уровень $x_{i\,0} - \Delta x_i$	–1	0,4	2,25

Таблица 2

Гранулометрический и химический состав порошка ВК-1

Гранулометрический состав, мкм, не более			Массовая доля химических элементов, не более				
X10	X50	X90	Fe, %	C, %	N, %	O, %	S, %
4	8	18	основа	0,02–0,1	0,02	0,3	0,005

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента и результаты измерений

Номер опыта i	Значения факторов				Параметры оптимизации	
	x_1		x_2		y_1	y_2
	код.	нат., %	код.	нат., %	$\sigma_в$, МПа	HV, МПа
Опыты на верхнем и нижнем уровне						
1	+ 1	0,7	+ 1	13,25	99	1330
2	–1	0,4	+ 1	13,25	101	1326
3	+ 1	0,7	–1	2,25	190	984
4	–1	0,4	–1	2,25	208	1093
Параллельные опыты на основном уровне						
5–1	0	0,55	0	7,75	135	1122
6–2	0	0,55	0	7,75	121	1149
7–3	0	0,55	0	7,75	137	1167

Таблица 4

Плотность и пористость после спекания

Номер опыта	Теоретическая плотность, г/см^3	Плотность после прессования и спекания, г/см^3	Пористость, %	Процент от теоретической плотности
1	6,041	5,02	17,0	0,830
2	6,078	5,19	14,7	0,853
3	7,380	6,24	15,5	0,845
4	7,436	6,34	14,7	0,853
5–7	6,666	5,67	15,0	0,850

Таблица 5

Твердость HRB (980,7 Н (100 кгс); шарик диаметром 1/16’)

Номер опыта	$\bar{x}$, HRB	S_x^2	S_x	K_B	±μ	ε, %	N_{min}
1	30	49	7	23,4	4,057	13,5	10
2	29,1	59,9	7,7	26,6	4,486	15,4	10
3	22,2	23,1	4,8	21,7	2,788	12,6	10
4	17,6	10	3,2	18	1,83	10,4	10
5-7	35,1	16,7	4,1	11,6	1,269	3,6	30

Шихта смешивалась в лабораторном баночном смесителе в течение 240 минут и подвергалась одностороннему прессованию в закрытой пресс-форме при давлении 600 МПа. Полученные прессовки имеют размеры 2,5×4,0×60,0 мм.

Спекание проводили в вакууме порядка $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. в течение 120 минут при температуре 1100 °С. После спекания определяли плотность и расчетное значение пористости прессовок (табл. 4). Образцы испытывали на статическое растяжение с помощью универсальной машины Inspekt 50 kN при скорости приложения нагрузки 1,0 мм/мин. Форма и размер образцов на растяжение соответствует спеченным прессовкам, дополнительное изменение формы прессовок не производилось. Значение предела прочности определяли по 10-ти образцам для каждого опыта в матрице планирования эксперимента. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3 (нагрузка – 1,96 Н). Значение микротвердости определяли по результатам 30-ти измерений для каждого опыта в матрице планирования эксперимента. Фотографии микроструктур полученных металлостеклянных материалов представлены на рис. 3.

Дополнительно, после спекания прессовок, измерялась твердость HRB на твердомере ТК-2 «Роквелл». Среднее значение твердости HRB определяли по 10-ти измерениям для каждого опыта в матрице планирования эксперимента (табл. 5).

Результаты исследований и их обсуждение

По полученным данным (табл. 3) производились вычисления с целью получения уравнений регрессии первого порядка для описания изменения предела прочности при растяжении и микротвердости металлостеклянного материала, в зависимости от содержания углерода и порошка стекла. В результате проверки статистической значимости расчетных коэффициентов эксперимент выродился в однофакторный, и были получены следующие уравнения (1), (2).

По параметру «Предел прочности при растяжении, МПа»:

$$y_1 = 131 - 50x_2, \quad (1)$$

где y_1 – расчетное значение предела прочности при растяжении, МПа; x_2 – содержание порошка стекла, в кодовом масштабе.

По параметру «Микротвердость HV_{200}, МПа»:

$$y_2 = 1146 + 145x_2, \quad (2)$$

где y_2 – расчетное значение микротвердости HV_{200}, МПа; x_2 – содержание порошка стекла, в кодовом масштабе.

В представленных уравнениях факторы имеют кодовый масштаб. Поскольку статистически значимым оказался только фактор x_2 – «Содержание стекла, %», формула перехода от кодированных величин к натуральным приводится только для него:

$$x_2 = \frac{X_2 - x_{2\text{Нат.0}}}{\Delta x_2}, \quad (3)$$

где x_2 – содержание порошка стекла в кодовом масштабе; X_2 – содержание порошка стекла в натуральном масштабе, %; $x_{2\ \text{Нат.0}}$ – содержание порошка стекла в натуральном масштабе на основном уровне, %; Δx_2 – интервал изменения содержания порошка стекла в натуральном масштабе, %.

Проверка полученных уравнений на адекватность по критерию Фишера при уровне значимости α = 0,05 показала, что гипотеза об адекватности полученных уравнений регрессии не отвергается. Расчетные и табличные значения критерия Фишера приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения расчетного и табличного критерия Фишера.

Уравнение	$F_{расч}$	$F_{табл}$	Условие – $F_{расч} < F_{табл}$
$y_1 = 131 - 50x_2$	10,10	19,0	выполняется
$y_2 = 1146 + 145x_2$	11,21	19,0	выполняется

Рис. 1. Экспериментальные значения и расчетная зависимость предела прочности при растяжении от содержания порошка стекла

Рис. 2. Экспериментальные значения и расчетная зависимость микротвердости от содержания порошка стекла

Сопоставление расчетных значений предела прочности при растяжении и микротвердости с экспериментальными данными графически представлено на рис. 1 и 2.

Структура металлической матрицы полученных материалов состоит из феррита и незначительного количества перлитных колоний, которые имеют тонкопластинчатое

и сорбитообразное строение. Частиц свободного графита в микроструктуре не выявлено. Очевидно, это связано с частичным выгоранием графита из материала в процессе спекания. Аналогичное явление (при спекании в водороде порошковых композиций железо-графит) было установлено в работе [7]. Соответственно, углерода в железе растворилось недостаточно и значительного эффекта упрочнения от этого фактора не получено. Это объясняет статистическую незначимость коэффициента, отражающего влияние углерода.

Недостаточное содержание углерода в металлической матрице материала косвенно подтверждается низкой твердостью HRB (табл. 5). Однако значения твердости HRB имеют большую относительную ошибку, что связано с неравномерностью структуры материала и наличием пор.

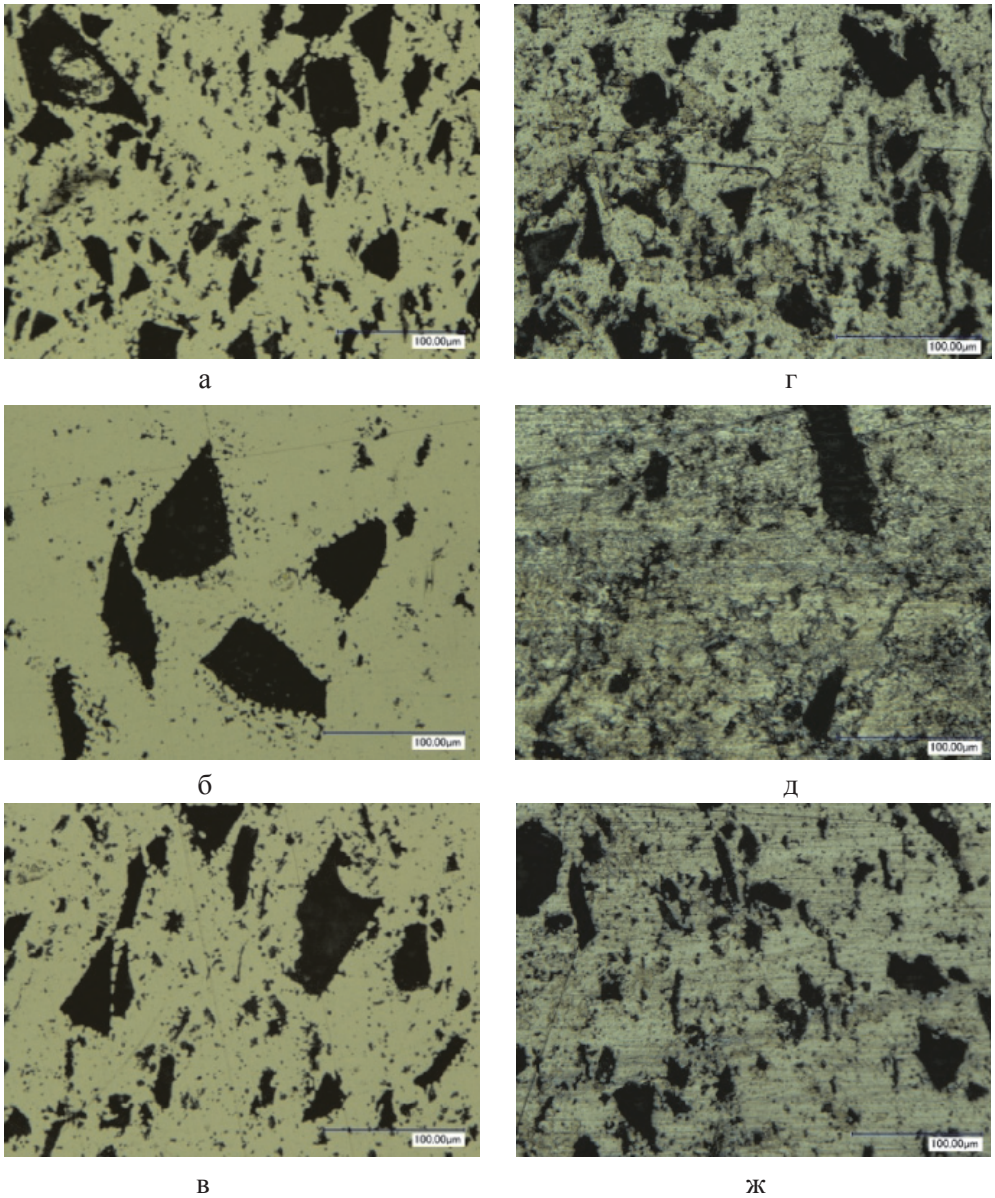


Рис. 3. Микроструктура композита, x1000 (реактив для травления – 4% раствор HNO_3 в этиловом спирте): а – микроструктура материала (Опыт № 1, 2), до травления; б – микроструктура материала (Опыт № 3, 4), до травления; в – микроструктура материала (Опыты № 5–7), до травления; г – микроструктура материала (Опыт № 1, 2), после травления; д – микроструктура материала (Опыт № 3, 4), после травления; ж – микроструктура материала (Опыты № 5–7), после травления

Частицы стекла на фотографиях микроструктуры незначительно оплавлены и окружены переходной зоной, состоящей из ортосиликата железа (II) Fe_2SiO_4 – файялита, образовавшегося при ситаллизации в процессе спекания. Включения стекла имеют размер от 100 мкм и менее. Очевидно, при спекании произошла коагуляция частиц стекла, имевших общую границу раздела [5, 6].

В микроструктуре присутствуют поры, однако значения пористости после спекания прессовок на 10–13 % меньше, чем в [7]. Снижение пористости в указанных пределах объясняется применением высокодисперсного порошка восстановленного карбонильного железа.

Содержание порошка стекла в полученных материалах, судя по коэффициентам в уравнениях регрессии (1, 2), значительно влияет на показатели прочности и микротвердости.

Наличие стеклянного наполнителя снижает прочность материала пропорционально его содержанию, что связано с уменьшением площади металлических связей, а также с угловатой формой частиц порошка стекла, которая способствует образованию большого количества концентраторов напряжений.

В связи с этим для повышения прочности материала необходимо использовать порошок стекла более благоприятной формы (сферической или полигональной), а также увеличить его дисперсность.

Значения предела прочности на растяжение полученных металлостеклянных материалов хорошо согласуются с известными данными для спеченного пористого железа. Так, предел прочности спеченного пористого железа составляет 98–216 МПа при плотности 5,1–6,6 г/см^3 [6].

Микротвердость исследованных металлостеклянных материалов, напротив, повышается с ростом содержания порошка стекла, так как частицы стекла выступают как твердые несущие включения. Повышение микротвердости положительно влияет на износостойкость материала.

Выводы

1. Исследованные металлостеклянные композиции на основе порошка восстановленного карбонильного железа обладают всеми необходимыми свойствами, характерными для антифрикционных материалов.

2. Содержание порошка стекла с размером частиц менее 63 мкм в концентрациях от 2,25 до 13,25 масс. % приводит к линейному снижению предела прочности более чем на 35 %.

3. Стеклянный наполнитель линейно повышает микротвердость материала до 25 % с увеличением концентрации порошка стекла от 2,25 до 13,25 масс. %.

4. При спекании материалов, содержащих в шихте графит в качестве источника углерода, необходимо принимать меры по устранению его выгорания в процессе спекания, что позволит увеличить прочность металлической матрицы и материала в целом.

Список литературы

1. Беляев Е.С., Колосова Т.М., Сорокин В.К., Костромин С.В. Алмазосодержащие материалы для отрезного инструмента на основе железного порошка // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 209–217.

2. Беляев Е.С., Гаврилов Г.Н. Исследование структуры и свойств лазерных сварных соединений пористого проницаемого проката из карбонильного никелевого порошка // Технология металлов. – М., 2010. – № 12. – С. 28–33.

3. Беляев Е.С., Костромин С.В., Ромашев М.А. Исследование микротвердости порошковых сталей 10, 15 после процесса лазерной цементации // Будущее науки – 2014: сборник научных статей 2-й Международной молодежной научной конференции, в 3-х томах (23 апреля 2013 – 25 апреля 2014 г.). – Курск, 2014. – С. 158–161.

4. Беляев Е.С., Костромин С.В. Лазерная закалка режущих кромок ножей для обработки древесины // Актуальные вопросы современной техники и технологии: сборник докладов XIII-й Международной научной конференции (Липецк, 25 окт. 2013 г.). – Липецк, 2013. – С. 59–61.

5. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – Киев: Наук. думка, 1980. – 404 с.

6. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. и др. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения Справочник; отв. ред. И.М. Федорченко. – Киев: Наук. думка, 1985. – 624 с.

7. Технология изготовления и оборудование по производству порошковых и композиционных материалов и изделий: учеб. пособие / В.К. Сорокин, Л.С. Шмелев – НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. – 184 с.

References

1. Beljaev E.S., Kolosova T.M., Sorokin V.K., Kostromin S.V. Almazosoderzhashhie materialy dlja otreznogo instrumenta na osnove zheleznogo poroshka // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 2. pp. 209–217.

2. Beljaev E.S., Gavrilov G.N. Issledovanie struktury i svojstv lazernyh svarnyh soedinenij poristogo pronicaemogo prokata iz karbonil›nogo nikelevogo poroshka // Tehnologija metallov. M., 2010. no. 12. pp. 28–33.

3. Beljaev E.S., Kostromin S.V., Romashev M.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkovyh stalej 10, 15 posle processa lazernoj cementacii // Budushhee nauki 2014: sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii, v 3-h tomah (23 aprelja 2013 – 25 aprelja 2014 g.). Kursk, 2014. pp. 158–161.

4. Beljaev E.S., Kostromin S.V. Lazernaja zakalka rezhushhih kromok nozhej dlja obrabotki drevesiny // Aktual›nye voprosy sovremennoj tehniki i tehnologii: sbornik dokladov XIII-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Lipeck, 25 okt. 2013 g.). Lipeck, 2013. pp. 59–61.

5. Fedorchenko I.M., Pugina L.I. Kompozicionnye spechennye antifrikcionnye materialy. Kiev: Nauk. dumka, 1980. 404 p.

6. Fedorchenko I.M., Francevich I.N., Radomysel›skij I.D. i dr.Poroshkovaja metallurgija. Materialy, tehnologija, svojstva, oblasti primenenija Spravochnik; otv. red. I.M. Fedorchenko. Kiev: Nauk. dumka, 1985. 624 p.

7. Tehnologija izgotovlenija i oborudovanie po proizvodstvu poroshkovyh i kompozicionnyh materialov i izdelij: ucheb. posobie / V.K. Sorokin, L.S. Shmelev NGTU im. R.E. Alekseeva. Nizhnij Novgorod, 2011. 184 p.

Рецензенты:

Дорофеев В.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технология материалов», Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск;

Васильев В.А., д.т.н., профессор кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.02.2015.

УДК 006.072.025

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ МЕТРОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Боков М.М., Гришаев М.Е., Мищенко М.В.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: bokov.mihail@mail.ru

В статье описано влияние измерительной техники на боеготовность образцов вооружения и военной техники. Обоснована необходимость повышения точности, стабильности и воспроизводимости единиц физических величин с помощью эталонов нового поколения. Проведён обзор квантовых методов, используемых в современной метрологии. Поддержание высокой боевой готовности войск невозможно обеспечить без выполнения измерений различного спектра характеристик и параметров современных образцов военной техники, находящихся на вооружении. Измерения составляют неотъемлемую часть деятельности войск в мирное и, что особенно важно, в военное время. Правильное применение измерительной техники по назначению, её своевременное техническое обслуживание, поверка и ремонт непосредственно влияют на точность и полноту оценки тактико-технических характеристик современного оружия.

Ключевые слова: вооружение, военная техника, квантовые методы, нормативная база

APPLICATION OF QUANTUM METROLOGY IN THE OPERATION OF MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Bokov M.M., Grishaev M.E., Mischenko M.V.

Military scientific center of the air force, «Air force Academy n.a. professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: bokov.mihail@mail.ru

The article describes the influence of the measuring equipment on the combat readiness of weapons and military equipment. The necessity to improve the accuracy, stability and reproducibility of physical units using the standards of the new generation. The review of quantum methods used in modern metrology. Maintaining a high level of combat readiness of the troops can not be achieved without the measurement of different spectrum characteristics and parameters of modern military hardware, are in service. The measurements are an integral part of the activities of troops in peacetime and, most importantly, in time of war. Proper use of measuring equipment for its intended purpose, its timely maintenance, calibration and repair directly affect the accuracy and completeness of the evaluation of tactical and technical characteristics of modern weapons.

Keywords: weapons, military equipment, quantum methods, regulatory framework

Очевидно, что поддержание боевой готовности войск невозможно обеспечить без выполнения измерений характеристик и параметров современных образцов вооружения и военной техники (ВВТ), находящихся в войсках. Измерения составляют неотъемлемую часть деятельности войск в мирное и, что особенно важно, военное время. Правильное применение измерительной техники по назначению, её своевременное техническое обслуживание, поверка и ремонт непосредственно влияют на точность и полноту оценки тактико-технических характеристик современного оружия.

Основным документом, в соответствии с которым в Российской Федерации осуществляются работы по стандартизации оборонной продукции, является государственный военный стандарт (ГСВ), принятый национальным органом по стандартизации, устанавливающий требования к военной продукции, обязательность применения которого определяется государственными заказчиками оборонного заказа и уполномоченными органами исполнительной власти.

ГСВ являются важной составной частью конструкторской и технологической документации, составляя основу для формирования тактико-технических заданий на разработку образцов ВВТ, опыт создания которых показывает, что в совокупности узлы, агрегаты и материалы невозможно использовать без жестких требований к их тактико-техническим характеристикам [1].

В соответствии с требованиями ГСВ, в Вооруженных Силах РФ исходными средствами измерений являются военные эталоны. По отношению к государственным эталонам они являются вторичными и изготавливаются так, чтобы обеспечивать единство измерений в войсковых условиях. Военные эталоны представляют собой средства измерений высокой точности, однако в современных условиях конструирования образцов ВВТ существует необходимость их совершенствования.

За последние годы в измерительной технике благодаря достижениям микроэлектроники произошли значительные изменения. В связи с разработкой новых датчиков в интегральном исполнении у средств измерений появились новые приложения и перспективы развития. Нашла широкое применение и цифровая измерительная техника. В связи с постоянным расширением и усложнением задач измерений в настоящее время достаточно часто применяются не только отдельные приборы, а измерительные системы, представляющие собой комплексы, обеспечивающие измерения различных величин с необходимой точностью, а также в ряде случаев передачу измерительной информации, её обработку и регистрацию [2].

Основой повышения точности, стабильности и воспроизводимости единиц физических величин с помощью эталонов нового поколения в настоящее время является использование квантовых закономерностей микрофизики и фундаментальных физических констант. Переход к квантовым эталонам в последние годы является основным направлением совершенствования эталонной базы метрологических организаций многих стран [3].

Квантовые методы в современной метрологии отличаются особыми свойствами, обусловленными стабильностью физических явлений, лежащих в их основе. Функции квантовых измерительных преобразователей и приборов базируются на фундаментальных законах микромира и квантово-механических соотношениях.

Поэтому во многих случаях в качестве коэффициентов преобразования таких средств измерений выступают фундаментальные физические константы, обычно известные с высокой точностью, или коэффициенты, поддающиеся точному теоретическому расчету. Это, кроме высокой точности преобразования, обеспечивает достижение значительной экономии в процессе эксплуатации современных средств измерений, поскольку они не нуждаются в градуировке и периодической поверке.

Потенциальные ресурсы стабильности параметров физических объектов микромира заключаются в наиболее эффективном способе повышения точности измерений, т.е. в использовании таких методов и средств измерений, которые свободны от многих видов погрешностей и которые не требуют применения сложных методов коррекции.

В этом отношении наиболее перспективными являются методы квантовой метрологии, основанные на квантовых эффектах, имеющих место на атомном и ядерном уровнях, а также бесконтактные спектрометрические (волновые) методы (особенно оптические), базирующиеся на естественных шкалах длин волн электромагнитного излучения.

Эффект Зеемана заключается в расщеплении энергетических уровней атомных частиц на магнитные подуровни, создаваемые магнитным полем, и основанные на этом эффекте квантовые магниторезонансные явления.

Магнитные подуровни могут создаваться как внешними магнитными полями, так и магнитными моментами микрочастиц. Например, взаимодействие магнитных моментов электронной оболочки и ядра атома вызывает расщепление энергетических уровней атома и соответствующих спектральных линий, называемое сверхтонкой структурой энергетического спектра атома. Переходы между уровнями сверхтонкой структуры используются, в частности, для создания квантовых стандартов частоты, лазеров и высокочувствительных тесламетров.

Эффект Джозефсона обусловлен макроскопическими квантовыми состояниями свободных электронов (куперовских пар) в сверхпроводниках. Эффект возникает в контактах двух сверхпроводников, разделенных тонким слоем диэлектрика. Если средняя скорость куперовских пар отлична от нуля, то говорят, что имеет место явление сверхпроводимости.

На использовании эффекта Джозефсона основаны современные эталоны единиц напряжения – вольта. В состав эталона входит дискретный переход, возбуждаемый сверхвысокочастотным излучением на частоте 8…10 ГГц. Значение квантового напряжения составляет при этом 4…10 мВ.

Высокая стабильность эталонов на основе эффекта Джозефсона открывает широкие перспективы для совершенствования естественного эталона вольта (стандартное отклонение при воспроизведении составляет в настоящее время ≈ 10–8 В).

Не менее интересные возможности для метрологии дает квантовый эффект Холла. Суть его состоит в том, что в специальных структурах типа металл – диэлектрик – полупроводник при температуре жидкого гелия и в сильном магнитном поле электрическое сопротивление принимает строго фиксированное значение.

Качественное объяснение данного явления, открытого в 1980 г. и названного квантовым эффектом Холла, связано с наличием в слое примесей. Эффект, заключающийся в квантовании холловской проводимости (отношение тока через образец к напряжению Холла), имеет место в сильных магнитных полях.

В начале 20 века немецкий физик Макс Планк показал, что основные единицы для

нашей Вселенной, однозначно предопределенные наиболее общими законами физики, могут быть составлены из фундаментальных физических констант: скорости света c, постоянной Планка h и гравитационной постоянной g. Значения этих констант, фигурирующие в виде коэффициентов в уравнениях основных физических теорий – классической и квантовой электродинамике и общей теории относительности, – являются максимально стабильными и не зависящими от различных внешних условий.

Однако единицы длины, времени и массы Планка лежат достаточно далеко от используемых на практике диапазонов. Кроме того, значение гравитационной постоянной до сих пор известно с недостаточной точностью. Необходимо отметить, что самым главным недостатком этих единиц является то, что мы не располагаем реальными физическими процессами, в которых бы они воспроизводились [4].

Для измерения скоростей подвижных объектов, жидких, газообразных и сыпучих сред, а также для измерения параметров вибраций широкое применение находят способы, основанные на использовании эффекта Доплера. Эти способы используются для измерения скоростей в широком диапазоне – от 0,001 мкм/с до скоростей, близких к скорости света.

Эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты излучения при движении его источника или приемника, нашел широкое применение в акустике, радиофизике, оптике, а также для ряда прикладных целей, особенно для измерения параметров движения. Относительное изменение частоты излучения пропорционально отношению измеряемой скорости к скорости распространения колебаний.

Измерение напряжения с использованием электрооптических эффектов Керра и Поккельса основано на возникновении лучепреломления поляризованного света, распространяющегося в электрическом поле, создаваемом измеряемым напряжением.

Возникновение квадратичного эффекта Керра можно пояснить следующим образом. Поляризованный луч света, образуемый с помощью источника света и поляризатора, проходит через электрическое поле, создаваемое конденсатором, к электродам которого приложено измеряемое напряжение Ux. При этом луч света направлен перпендикулярно вектору напряженности этого поля. После анализатора свет попадает в фотоприемник, где он преобразуется в электрический сигнал, измеряемый прибором. интенсивность света на выходе преобразователя связана с измеряемым напряжением Ux.

Линейный электрооптический эффект Поккельса наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, находящихся в электрическом поле, и применяется для измерения напряжения [5].

Использование физических явлений, происходящих на атомном или ядерном уровнях, т.е. в недрах атома, позволяет создавать высокочувствительные средства измерений с порогом чувствительности, равным кванту энергии одной или небольшого ансамбля атомных частиц.

По этой же причине метрологические характеристики квантовых приборов достаточно мало или вообще не зависят от изменений внешних факторов. При этом чем более глубинные явления используются, тем меньше эта зависимость. Квантовые преобразователи обычно не искажают состояния объекта исследования.

В качестве информативного параметра выходного сигнала квантовых средств измерений во многих случаях выступает частота, являющаяся наиболее точно измеряемой физической величиной, которую легко, без искажений можно передавать на большие расстояния. Это позволяет сделать общедоступной высокую точность измерения не только в метрологической практике, но и при технических измерениях.

Квантовые методы уже нашли применение в метрологии для создания естественных эталонов единиц ряда физических величин. На их основе уже созданы эталоны единиц длины, времени и частот, электрического напряжения, магнитной индукции, вторичный эталон температуры.

Проводятся исследования по созданию естественных эталонов единиц массы на основе уточнения значения числа Авогадро, электрического сопротивления на основе квантового эффекта Холла, силы тока на основе ядерного магнитного резонанса и др.

Совершенствование квантовых методов и их сочетание с современной элементной базой позволяют на их основе создавать не только высокоточные эталоны единиц физических величин, но также образцовые и рабочие средства измерений с уникальными характеристиками, которые не могут быть получены на основе применения классических методов. Уже созданы усилители и аналого-цифровые преобразователи с порогом чувствительности 10–14 В, бесконтактные расходомеры и концентратомеры на основе ядерного магнитного резонанса, измерители сверхмалых линейных и угловых размеров с порогом чувствительности соответственно 10–12 м, лазерные интерферометры, обеспечивающие измерение линейных

размеров с погрешностью $2 \cdot 10^{-7}$, концентратомеры и измерители сверхмалых скоростей на основе эффекта Мессбауэра [3, 6].

Высокая точность измерений, проводимых с использованием квантовых методов, позволяет выполнять метрологическое сопровождение технологических процессов производства материалов, структур, объектов и иной продукции с использованием нанотехнологий. В свою очередь, за разработку теории, методов и инструментов для измерения параметров объектов, линейные размеры которых находятся в нанодиапазоне, отвечает нанометрология.

Именно в нанотехнологии актуален тезис: «Если нельзя правильно измерить, то невозможно создать». Все страны, вступившие в нанотехнологический прорыв, прекрасно представляют необходимость опережающего развития метрологии в этой области, ибо уровень точности и достоверности измерений способен либо стимулировать ее развитие, либо быть сдерживающим фактором.

Развитие нанотехнологий ужесточает требования к измерительным системам, погрешности измерений которых должны быть сравнимы с межатомными расстояниями, что требует серьезного отношения к обеспечению единства линейных измерений в нанометровом диапазоне [7].

Уже сейчас для обеспечения нормативной базы нанометрологии разработаны и внедрены семь российских стандартов [7, 8].

В перспективе одной из основных задач «военной» нанометрологии будет метрологическое обслуживание средств измерений, входящих в состав новейших образцов ВВТ. Необходимым условием успешного выполнения данной задачи является практическое использование квантовых закономерностей микрофизики.

Применение описанных квантовых методов в приборостроении позволяет создавать высокоточные средства измерений, обладающие высокой чувствительностью. В свою очередь, успех современного боя зависит во многом от того, насколько полно реализуются тактико-технические характеристики образцов ВВТ, значения которых контролируются с помощью современных средств измерений.

Список литературы

1. Корсун О.Н., Нескородев Е.Ю. Проблемы системы стандартизации оборонной продукции // Инженерно-физические проблемы новой техники: сборник материалов X Всероссийского совещания-семинара. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 318.

2. Шишмарев В.Ю. Основы проектирования приборов и систем. – М.: Юрайт, 2011. – 343 с.

3. Дресвянников А.Ф., Петрова Е.В., Ермолаева Е.А. Физические основы измерений и эталоны. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 296 с.

4. Горошко Д.Л. Метрология, стандартизация, сертификация. – Владивосток: ВГУЭС, 2003. – 148 с.

5. Медякова Э.И. Физические основы измерений: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2005. – 63 с.

6. Гончар Л.Л., Гришаев М.Е., Малай И.М. Физические основы измерений и эталоны. – Воронеж, ВУНЦ ВВС ВВА, 2012. – 102 с.

7. Тодуа П.А. Нанотехнологии. Нанометрология и стандартизация // Наноиндустрия. – 2009. – № 2.

8. Новиков Ю.А., Раков А.В., Тодуа П.А. Прямое измерение ширины линии на атомно-силовом микроскопе // Измерительная техника – 2008. – № 5.

References

1. Korsun O.N., Neskorodev E.Yu. Problemy i sistemy istandartizatsii oboronnoy produktsii // *Sbornikmaterialov X Vserossiyskogo Soveschaniya-seminara «inzhenerno-fizicheskie problemyi novoy tehniki»* (Collection of materials X National Conference-Workshop «Engineering and physical challenges of new technology»). Moscow, 2012, pp. 318.

2. Shishmarev V.Yu. *Osnovy i proektirovaniya priborov i sistem* [Basics of designing devices and systems]. Moscow, Yurayt Publ, 2011. 343 p.

3. Dresvyannikov A.F., Petrova E.V., Ermolaeva E.A. *Fizicheskie osnovy i izmereniyie talonyi* [Physical basis of measurements and standards]. Moscow, LENAND Publ, 2011. 296 p.

4. Goroshko D.L. *Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya* [Metrology, standardization, certification]. Vladivostok, VGUES Publ, 2003. 148 p.

5. Medyakova E.I. *Fizicheskie osnovy i izmereniy*: *Pismennyie lektsii* [Physical basis of measurements: Writing lecture] St. Petersburg, SZTU Publ, 2005. 63 p.

6. Gonchar L.L., Grishaev M.E., Malay I.M. *Fizicheskie osnovy i izmereniyie talonyi* [Physical basis of measurements and standards] Voronezh, VUNTs VVS VVA Publ, 2012. 102 p.

7. Todua P.A. Nanotehnologii. *Nanometrologiya i standartizatsiya – Nanoindustry*, 2009, no. 2.

8. Novikov Yu.A., Rakov A.V., Todua P.A. *Pryamoe izmerenie shirinyi linii na atomno-silovom mikroskope – Measuring equipment*, 2008, no. 5.

Рецензенты:

Умывакин В.М., д.г.н., к.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж;

Лагунов В.С., д.т.н., профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и медицинских знаний, Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 534.843.242.2

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РЕВЕРБЕРАЦИИ, АДЕКВАТНОЙ РЕАЛЬНОМУ ПРОЦЕССУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА

Вахитов Я.Ш., Давыдов Д.А.

Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, Санкт-Петербург, e-mail: da.davydov@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы адекватности существующей модели реверберации, основанной на принципах, описанных Эйрингом. Подвергаются критике и обоснованию два важных, упущенных в этой модели процесса, участвующих в распределении энергии в процессе прохождения акустического сигнала в помещении. Эти моменты касаются одновременности отражений и потери энергии сигнала при отражении. Для моделирования процесса по модифицированной теории предлагается изучение этих упущенных моментов на основе моделирования. Моделирование осуществляется с помощью метода мнимых источников. В результате моделирования показано, что одновременно могут существовать сигналы от разных поясов отражений, энергия в процессе переотражения распределяется между сигналами, и количество одновременно существующих сигналов отражения увеличивается в течение времени распространения сигнала. Также можно наблюдать, что количество существующих в течение одинакового интервала наблюдения отражений не остается постоянным для разных точек наблюдения. Данный аспект позволяет обосновать неоднородность звукового поля в процессе переотражения сигнала.

Ключевые слова: реверберация, модель Эйринга, метод мнимых источников, акустический сигнал

METHOD OF CONSTRUCTING OF REVERB MODEL AN ADEQUATE TO THE REAL PROCESS OF PROPAGATION OF A SIGNAL

Vakhitov Y.S., Davydov D.A.

Saint-Petersburg State Institute of Film and Television, Saint-Petersburg, e-mail: da.davydov@mail.ru

The article discusses the adequacy of the existing model of reverberation based on the principles described by Eyring. Criticized and justify two major aspects that were lost in this process model involved in the distribution of energy in the process of passing the acoustic signal in the room. These aspects relate to the simultaneous reflection and loss of signal energy during the reflection. For the simulation process on the modified theory is proposed to study these lost momentum on the basis of modeling. Simulation is performed using the method of image sources. The simulation shows that both signals from different zones of reflections can exist, the energy in the process is distributed between reflected signals and the number of simultaneously existing reflection signal increases during the time of signal propagation. Also, it can be observed that the number of existing reflections within the same observation interval does not remain constant for different points of observation. This aspect allows to justify the heterogeneity of the sound field in the multipath signal.

Keywords: reverberation, Eyring model, imaginary source method, acoustical signal

Известно [1, 3, 4], что многие ученые в области акустики трактовали реверберационный процесс с качественной точки зрения как процесс нарастания уплотнения совокупности отраженных сигналов, происходящий одновременно с нарастанием времени реверберации. Однако количественные категории этого явления оставались нераскрытыми, т.к. процесс нарастания числа отражений по классической теории не учитывает того обстоятельства, что эти отраженные сигналы доходят до точки приема в разные моменты времени. Процесс же уплотнения должен фиксироваться для тех отраженных сигналов, которые приходят в точку приема единовременно.

В [2] было показано, что модель Эйринга [7] не может рассматриваться как адекватное теоретическое описание реального реверберационного процесса. Критика этой модели в данном контексте основывается не столько на утверждении, что реверберация является главным параметром оценки качества помещения с акустической точки зрения, сколько на анализе динамической структуры самого процесса затухания. В методе описания процесса отражения звукового сигнала в помещении, предложенном Эйрингом, по сути никакой хаотичности не присутствует, потому что отражение происходит одновременно ото всех поверхностей с определенным тактом, как бы в сферическом помещении, что не соответствует реальному процессу. Тактовость процесса может нейтрализоваться при числе отражений, близком к бесконечности. В реальности же подобное длительное время наблюдения в практике измерений никогда не достигается.

В той части реверберационного сигнала, которую мы рассматриваем как воспринимаемый слухом переходной процесс, фактическая слуховая оценка связана лишь с начальной частью, которая не удовлетворяет условию эргодичности. И более того, поскольку все отражения происходят

одновременно, на процесс отражения накладывается определенный такт, которого на самом деле нет. В результате получается, что положение модели об одновременности всех отражений не является корректным.

Второе положение, которое вызывает сомнение в рамках традиционной теории реверберации, это постоянство количества отраженных от ограничивающих поверхностей помещения сигналов. Более общая теория реверберации, разработанная Шустером и Вейцманном [8], утверждает, что предшествовавшие теории описывают только путь прохождения одиночного звукового луча в помещении и что при отражении сигнала энергия падающего сигнала распределяется между отраженными. Согласно принципу Гюйгенса [5], каждая точка фронта (поверхности, достигнутой волной) является вторичным (т.е. новым) источником сферических волн. Огибающая фронтов волн всех вторичных источников становится фронтом волны в следующий момент времени. Т.е. в процессе отражения от поверхности звука сама поверхность становится новым источником с энергией, равной разности между пришедшей к поверхности энергией и поглощенной самой поверхностью. Таким образом, можно показать, что количество сигналов при каждом акте отражения увеличивается.

Модификация существующей модели реверберационного процесса

Для создания адекватной математической модели необходимо установить структуру сигнала в данной точке наблюдения. Структура должна быть дискретной с точки зрения отдельных сигналов отражения. Как правило, под дискретными сигналами подразумеваются сигналы бесконечно короткой длительности с детерминированной амплитудой. В данном случае такое представление сигнала возможно лишь при использовании в качестве возбуждающего систему «звук – помещение» сигнала дельта-импульса. Как правило, для изучения акустических характеристик помещения такие импульсы используют, имитируя характеристики дельта-импульса выстрелами из стартового пистолета, лопанием воздушных шаров и прочее. В случае использования системы звукоусиления возможно использовать записанные ранее и воспроизведенные через эту систему звуковые сигналы. Использование подобных сигналов в анализе процесса переотражения звука в помещении позволяет достаточно четко обнаружить начало и конец акустического сигнала, пришедшего в точку наблюдения. Это возможно сделать при достаточно высоком разрешении регистрирующих и анализирующих приборов, в качестве которых в настоящее время могут быть использованы персональные компьютеры, оборудованные точными аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями.

При построении адекватной структуры реверберационного сигнала необходимо иметь в виду также упускаемый Эйрингом аспект перераспределения энергии звукового сигнала в процессе отражения его от ограждающей поверхности. В результате этого отражения, даже если пренебречь потерей энергии при поглощении элементами акустической обработки помещения и прохождением сигнала сквозь ограждающую поверхность, энергия исходного падающего сигнала перераспределится между отраженными сигналами.

Моделирование по модифицированному методу

При моделировании процесса накопления отражений и установления их плотности для большей наглядности рассмотрим процесс переотражения звука на двухмерной модели. При необходимости методику можно экстраполировать на трехмерную модель введением поправки на высоту размещения мнимого источника относительно микрофона. Помещение будет обладать следующими геометрическими размерами: высота h = 10 м, ширина b = 14,5 м, длина l = 21 м.

На рис. 1 показан фрагмент плана помещения для расчета сигналов от мнимых источников. Он включает в себя, помимо непосредственно основного помещения и мнимых источников, расположенных в поясах отражений [6], концентрические окружности, отстоящие пространственно друг от друга на расстояние средней длины свободного пробега звука в данном помещении. Из формулы среднего времени пробега [4]

$$\tau = \frac{4V}{c_0 S}, \qquad (1)$$

где V – объем исследуемого помещения; c_0 – скорость звука при нормальных условиях; S – суммарная площадь ограничивающих поверхностей, можно получить среднюю длину пробега l_0:

$$l_0 = \tau \cdot c_0 = \frac{4V}{c_0 S} c_0 = \frac{4V}{S}. \qquad (2)$$

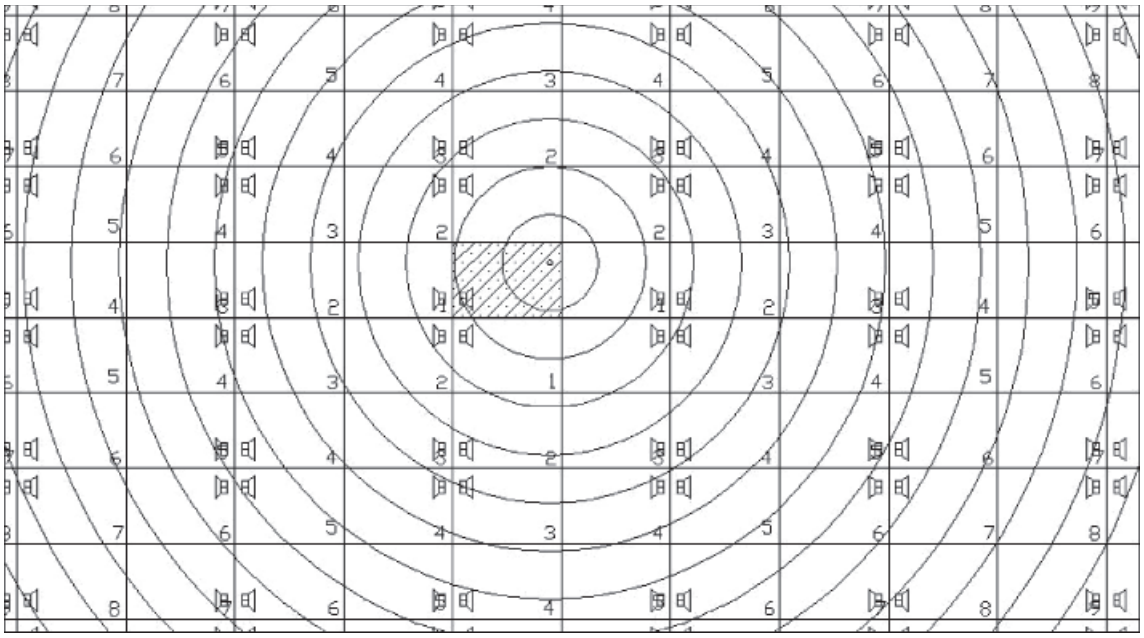


Рис. 1. Фрагмент плана исследуемого помещения для расчета плотности отражений методом мнимых источников

В случае помещения с вышеуказанными параметрами среднее время пробега в помещении $\tau_0 = 26{,}9$ мс, средняя длина пробега $l_0 = 9{,}23$ метра. Вычерчивая концентрические окружности с шагом, равным средней длине пробега в помещении, получаем возможность установить, какие отражения будут приходить в один и тот же временной интервал, т.к. все точки, находящиеся внутри кольца, ограниченного двумя концентрическими окружностями, будут отстоять от центра на одно и то же расстояние, ограниченное средней длиной пробега. Центром же данных окружностей следует взять точку наблюдения. Таким образом, вычертив достаточное количество концентрических окружностей с равным шагом, можно пронаблюдать поведение отражений внутри заданного интервала в разные моменты времени. Условием достаточности можно считать утверждение, что ранними отражениями считаются отражения, пришедшие в интервал от начала процесса до 50–80 мс в зависимости от рассматриваемого звукового материала [1]. Если при этом рассчитать номер мнимого помещения для каждого мнимого источника, то становится возможным установить число пересечения поверхностей данного помещения звуковым сигналом из данного мнимого источника. Знание этого числа дает возможность рассчитать суммарные потери энергии, что, в свою очередь, позволяет рассчитать суммарный вклад всех отражений в энергию внутри наблюдаемого интервала.

Для подсчета количества отражений в течение среднего времени свободного пробега для каждого отражения нужно установить номер, вычислить остаточную энергию по формуле, вывод и обоснование которой приведены в [2]:

$$E(t) = E(1 - \alpha)^n. \qquad (3)$$

Складывая эти значения, безотносительно исходной энергии источника, можно установить характер поведения энергии звукового сигнала в течение наблюдаемого интервала. Результат сложения проиллюстрирован на графике (рис. 2). По оси абсцисс идет отсчет номера интервала наблюдения, по оси ординат – количество отражений, существующих внутри этого интервала.

В этом случае, как видно из рисунка, мы можем определить количество сигналов, приходящих в центр данной окружности в один и тот же момент времени. Если мы хотим определить количество сигналов, приходящих в другую точку пространственного расположения приемника, мы должны поменять центр этих окружностей и проделать ту же процедуру.

Для проверки этого утверждения построим подобный план для помещения, в котором приемник звука будет находиться на более близком расстоянии от источника, чем в первом варианте. Данное положение проиллюстрировано на рис. 3.

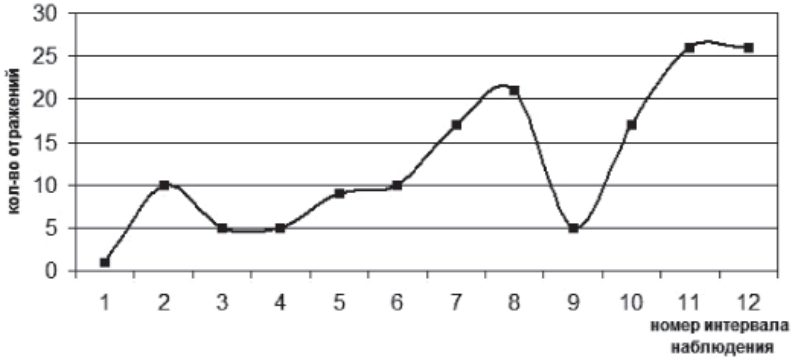


Рис. 2. Изменение количества отраженных сигналов с увеличением времени наблюдения

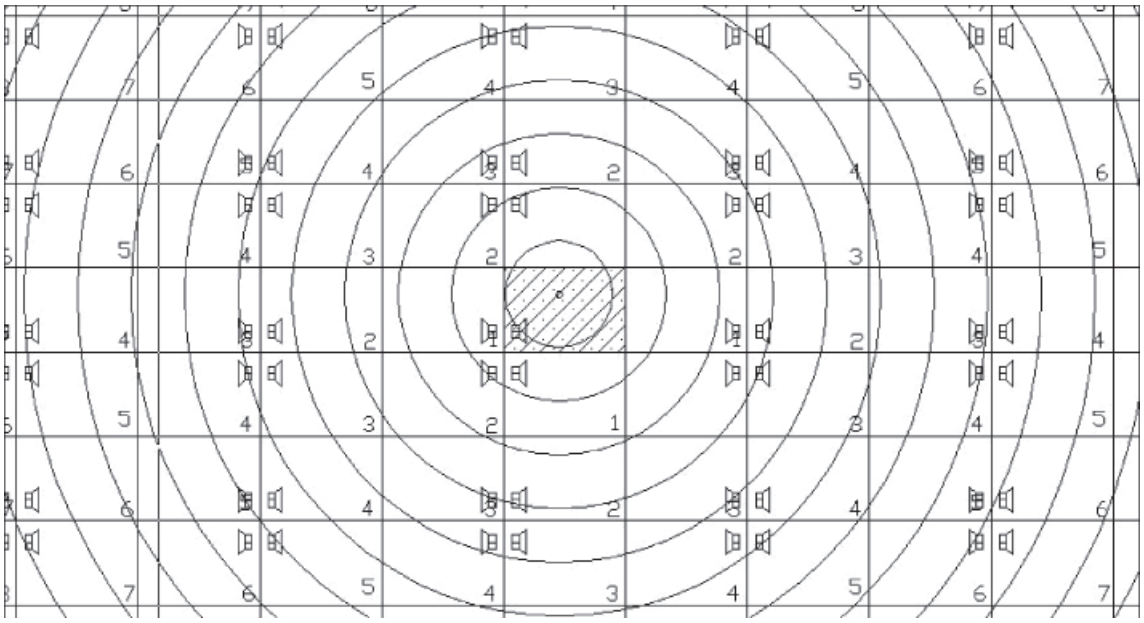


Рис. 3. Фрагмент плана исследуемого помещения для расчета плотности отражений методом мнимых источников для второго варианта расположения

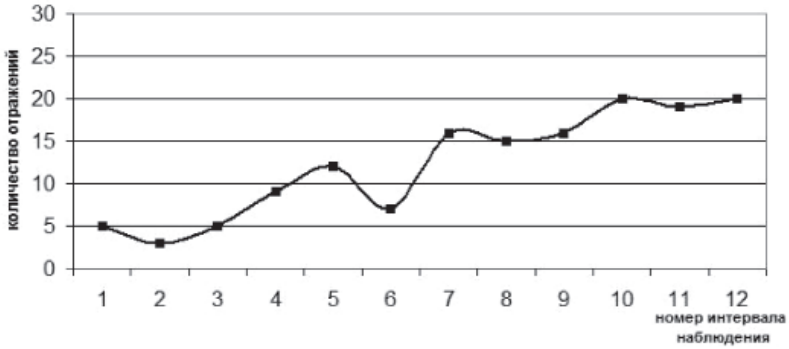


Рис. 4. Изменение количества отраженных сигналов с увеличением времени наблюдения при изменении положения приемника

При изменении положения приемника изменяется количество мнимых источников звука, сигналы от которых приходят в один и тот же установленный выше интервал времени. Одновременно из-за изменения координат приемника, так как концентрические окружности изменяют свое положение относительно мнимых источников, мнимые

источники могут перемещаться из одного кольца наблюдения в другое.

Это приводит к перераспределению сигналов, приходящих в один интервал времени, что, в свою очередь, приводит к изменению и их количества. Данное утверждение проиллюстрировано на рис. 4.

Заключение

Как можно видеть, в обоих промоделированных случаях в течение времени наблюдения количество одновременно существующих сигналов отражения увеличивается, что подтверждает постулат, указанный в [2] и приведенный к рассмотрению в данной статье. Также можно наблюдать, что количество существующих в течение одинакового интервала наблюдения отражений не остается постоянным для разных точек наблюдения. Данный аспект позволяет обосновать факт неоднородности звукового поля в процессе переотражения сигнала, и, следовательно, картины реверберационной кривой. Эта неоднородность будет проявляться в изменении характера поведения кривой в зависимости от точки наблюдения.

Приведенный анализ влияния взаимного расположения источника звука и приемника показывает неодинаковость реверберационной кривой в различных точках помещения. Следует отметить, что мы интересуемся причиной неодинаковости измеренного времени реверберации в разных координатных точках помещения и объясняем эту неравномерность (в рамках классического объяснения) интерференционными явлениями, возникающими из-за того, что мы можем измерять только потенциальную составляющую энергии, обусловленную звуковым давлением. В действительности неравномерность результатов обусловлена не только интерференционными явлениями, но и тем обстоятельством, что энергия различных участков помещения (мгновенная) неодинакова из-за того, что совокупное расстояние, определяемое по изломанной в результате отражения траектории, в разных местах помещения будет разным. Следовательно, измеренное время реверберации будет неодинаковым не только из-за интерференционного взаимодействия. Рассмотренные в рамках данной статьи утверждения могут быть использованы для увеличения точности расчетов при проектировании помещений с использованием существующей статистическо-геометрической теории реверберации.

Список литературы

1. Анерт В., Штеффен Ф. Техника звукоусиления. Теория и практика. – М.: Эра, 2006. – 416 с.

2. Вахитов Я.Ш., Давыдов Д.А. Анализ факторов адекватности парадигмальной математической модели реверберационного процесса реальному характеру формирования реверберации // Мир Техники Кино. – 2015. – № 35. – С. 20–29.

3. Качерович А.Н. Акустическое оборудование киностудий и театров. – М.: Искусство, 1980. – 232 с.

4. Сапожков М.А. Электроакустика: учебник для вузов. – М.: Связь, 1978. – 272 с.

5. Трофимова Т.И. Курс физики. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с.

6. Allen Jont B., Berkley David A. Image Method for Efficiently Simulating Small-room Acoustics // Journal of The Acoustical Society, Jan. – 1979. – Vol. 65. – P. 943–950.

7. Eyring C.F. Reverberation Time in «Dead» Rooms // Journal of The Acoustical Society, Jan. – 1930. – Vol. 1. – P. 217–241.

8. Schuster K., Waetzmann E. Über den Nachhall in geschlossenen Räumen, Ann. d. Physik 1 (1929). 671 p.

References

1. Ahnert V., Steffen F. *Tehnika zvukousilenija. Teorija i praktika*. Moscow, Era, 2006. 416 p.

2. Vakhitov Y.S., Davydov D.A. *Analiz faktorov adekvatnosti paradigmal'noj matematicheskoj modeli reverberacionnogo processa real'nomu harakteru formirovanija reverberacii*. Mir Tehniki Kino. 2015. no. 35. pp. 20–29.

3. Kacherovich A.N. *Akusticheskoe oborudovanie kinostudij i teatrov*. Moscow, Iskusstvo, 1980. 232 p.

4. Sapozhkov M.A. *Elektroakustika. Uchebnik dlya vuzov*. Moscow, Svyaz, 1978. 272 p.

5. Trofimova T.I. *Kurs fiziki*. 11-e izd., ster. Moscow, Akademija, 2006. 560 p.

6. Allen Jont B., Berkley David A. *Image Method for Efficiently Simulating Small-room Acoustics*. Journal of The Acoustical Society, Jan. 1979, Vol. 65, pp. 943–950.

7. Eyring C.F. *Reverberation Time in "Dead" Rooms*. Journal of The Acoustical Society, Jan. 1930, Vol.1. pp. 217–241.

8. Schuster K., Waetzmann E, Über *den Nachhall in geschlossenen Räumen*, Ann. d. Physik 1 (1929). 671 p.

Рецензенты:

Майзель А.Б., д.т.н., профессор, начальник отдела, ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург;

Уваров В.К., д.т.н., профессор кафедры математики и физики, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 681.2.002.2; 681.2.002.5

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО ДАТЧИКА

Волкова С.Л., Воробьева И.В., Денисов Ю.В.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: sveta.volkova92@mail.ru

Рассматриваются поперечные колебания чувствительного элемента вибрационного датчика. В качестве модели чувствительного элемента используется струна либо стержень. Анализируется влияние допусков на геометрические размеры, несовершенства формы поперечного сечения, магнитного поля на частоту колебаний. Определение частоты колебаний осуществляется в детерминированной и вероятностной постановках. Предложены рекомендации по обеспечению стабильности функциональных характеристик с учетом параметров датчика и параметров технологического процесса. Выполненные работы позволили уменьшить вариации функциональных характеристик датчика, что в свою очередь должно обеспечить увеличение числа выхода годных датчиков при производстве. На основе данных, полученных в результате проведенного анализа, были определены основные положения разработки информационной системы для проведения расчетов с целью уменьшения вариации функциональных характеристик вибрационного датчика и повышения эффективности производства.

Ключевые слова: вибрационный датчик, поперечные колебания, допуски на геометрические размеры, случайные колебания

BASIC PROVISIONS OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM OF DYNAMIC ANALYSIS VIBRATION SENSORS

Volkova S.L., Vorobeva I.V., Denisov Y.V.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: sveta.volkova92@mail.ru

We examine transverse vibrations of vibration sensor sensitive element. A string or a rod is used as sensitive element model. We analyzed how dimensional tolerances effect on geometry, imperfections in the cross-sectional shape and how magnetic field effect on vibration frequency. Vibration frequency determination is carried out in deterministic and probabilistic formulation. Recommendations to ensure the stability of functional characteristics with the sensor parameters and parameters of technological process. The work performed allowed to reduce the variation of the functional characteristics of the sensor, which in turn should provide an increase in the number of yield of effective in the manufacture of sensors. On the basis of data obtained as a result of the analysis, there were certain basic provisions of the development of an information system for the calculations in order to reduce variations in the functional characteristics of the vibration sensor and to improve production efficiency.

Keywords: vibration sensor, transverse vibrations, dimensional tolerances, random vibrations

Вибрационный датчик относится к классу прецизионных приборов, характеризуемых уменьшением геометрических и массовых характеристик; большой концентрацией физических процессов в ограниченном объеме, уменьшением допусков на функциональные характеристики.

Функциональные характеристики вибрационного датчика имеют случайный характер. Вариации характеристик определяются: исполнителем работ; допуском на геометрические размеры; сырьем и исходными материалами; технологическим процессом; оборудованием и инструментом; средствами и методами измерения результатов; окружающей средой.

Улучшение качества и уменьшение количества несоответствий при выпуске датчиков достигается не ужесточением требований к системе и увеличением вариаций случайных параметров, а уменьшением вариаций результатов деятельности, считая, что качество формирует технологический процесс.

Цель исследования – определить рациональные границы допусков на геометрические размеры с учетом свойств материала и уменьшить вариации функциональных характеристик датчика, обеспечив увеличение числа выхода годных датчиков при производстве.

Известные методы повышения эффективности производства не в полной мере позволяют получить существенный результат в решении задачи определения требуемых функциональных характеристик приборов. Использование информационных систем проведения динамического анализа поможет контролировать связь между функциональными характеристиками датчика, конструктивными параметрами и параметрами технологического процесса.

Материал и методы исследования

Анализ поперечных колебаний чувствительного элемента вибрационного датчика. В качестве модели чувствительного элемента используется струна либо стержень.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты работы могут быть использованы при конструировании датчиков для определения критичных конструктивных параметров и при их изготовлении для определения параметров технологического процесса.

Научная новизна

Решенные новые задачи по анализу частоты колебаний доведены до числового результата и позволяют оценить влияние допусков на геометрические размеры; влияние магнитного поля, случайного характера геометрических размеров на функциональные характеристики датчика.

Предложенная концепция информационной системы проведения динамического анализа включает несколько модулей: модуль механических и магнитных свойств материала, модуль конструктивных параметров (допуски на геометрические размеры, шероховатость поверхности, зазоры между деталями, размерные цепи); модуль аналитических выражений связи между конструктивными параметрами и функциональными характеристиками; модуль экспериментальных зависимостей между параметрами технологического процесса и конструктивными параметрами.

Практическое использование

Применение системного подхода к процессу производства датчиков для уменьшения вариаций параметров технологического процесса с использованием информационной системы, сокращение количества несоответствий при производстве датчиков.

Применение информационной системы позволило существенно сократить длительность технологической подготовки производства, обеспечить повышение технологичности деталей с оценкой влияния на функциональные характеристики.

При анализе влияния геометрических размеров решены вопросы:

1) разработки уточненных расчетных схем вычисления собственных частот упругой системы в статистических и динамических условиях;

2) установления связи между допуском на характеристики датчика и свойствами материала (размером зерна, легирующими элементами, модулем упругости, реологическими свойствами, режимами термообработки);

3) учета влияния внутреннего трения на частоты датчика;

4) обеспечения стабильности функциональных характеристик в зависимости от времени и температуры;

5) оценки влияния коэффициентов инерции и жесткости на функциональные характеристики.

Малые колебания струн

Уравнение малых поперечных колебаний элемента датчика – струны имеет вид [1] (рис. 1)

$$\frac{d^2y}{dt^2}=a^2\frac{d^2y}{dz^2},\ \left(a^2=\frac{T_0}{m_0}\right), \qquad (1)$$

где T_0 – натяжение струны, Н; $m_0 = bh\rho$ – масса единицы длины струны, кг/м; (h – толщина, b – ширина, ρ – плотность). $Y(z, t)$ – смещение произвольной точки струны.

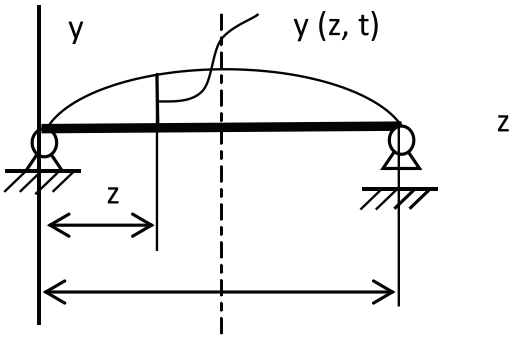


Рис. 1. Малые колебания струны

Функция $Y(z, t)$ должна удовлетворять краевым и начальным условиям. Общее решение (1) записывается в виде

$$y(z,t)=\sum^{\infty}\left(C_{1n}\cos\frac{\pi n}{l}at+C_{2n}\sin\frac{\pi n}{l}at\right)\sin\frac{\pi nz}{l}, \qquad (2)$$

где коэффициенты C_{1n} и C_{2n} определяются как коэффициенты рядов Фурье для начальной формы и начального распределения скоростей точек струны.

Возможные значения частот колебаний p:

$$p_n=\frac{n\pi}{l}\sqrt{\frac{T_0}{m_0}c^{-1}},\ (n=1,2,\ldots). \qquad (3)$$

При уменьшении толщины струны с $h = 0{,}22$ мм до $h = 0{,}19$ мм (на – 13,6 %)

для $l = 5{,}7$ мм частота увеличивается на +7,6 %. При той же толщине струны $h = 0{,}220$ мм увеличение длины с $l = 5{,}7$ мм до $l = 5{,}775$ мм (на + 1,3 %) приводит к уменьшению частоты на – 1,3 %. Изменение геометрических размеров с $h = 0{,}22$ мм, $l = 5{,}7$ мм до $h = 0{,}19$ мм, $l = 5{,}775$ мм вызывает увеличение частоты на +6,2 %.

При уменьшении толщины струны с $h = 0{,}16$ мм до $h = 0{,}146$ мм (на – 8,75 %) для $l = 5{,}7$ мм частота увеличивается на + 4,7 %. При той же толщине струны $h = 0{,}16$ мм увеличение длины с $l = 5{,}7$ мм до $l = 5{,}775$ мм (на +1,3 %) приводит к уменьшению частоты на – 1,3 %. Изменение геометрических размеров с $h = 0{,}16$ мм, $l = 5{,}7$ мм до $h = 0{,}146$ мм, $l = 5{,}775$ мм вызывает увеличение частоты на +6,2 %.

Уравнение малых поперечных колебаний струны при переменных по длине струны $m_0(z)$ и $T_0(z)$ имеет вид

$$m_0(z)\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d}{dz}\left[T_0(z)\frac{dy}{dz}\right]. \qquad (4)$$

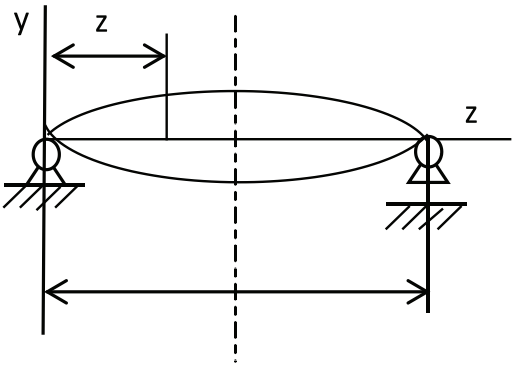


Рис. 2. Колебания струны переменного сечения

Если масса струны (масса единицы длины струны) изменяется по закону (рис. 2)

$$m = m_0 + m_1 \sin\frac{\pi z}{l}, \qquad (5)$$

то первые две частоты колебаний, считая, что натяжение в струне T_0 при колебаниях остается практически неизменным, определяются выражениями

$$p_1 = \frac{\pi}{l}\sqrt{\frac{T_0}{m_0\left(1 + \frac{m_1}{m_0}\frac{8}{3\pi}\right)}}, \ \text{с}^{-1}; \qquad (6)$$

$$p_2 = \frac{2\pi}{l}\sqrt{\frac{T_0}{m_0\left(1 + \frac{m_1}{m_0}\frac{32}{15\pi}\right)}}, \ \text{с}^{-1}. \qquad (7)$$

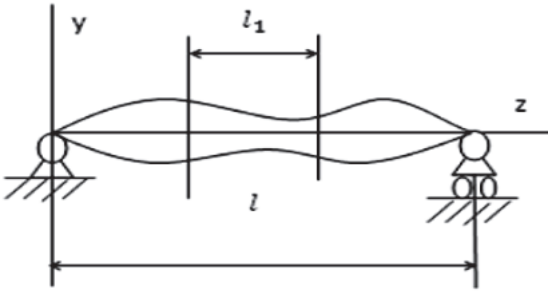


Рис. 3. Колебания струны переменного сечения

Если масса струны (масса единицы длины струны) изменяется по закону (рис. 3)

$$m = m_0 + m_1 \sin\frac{\pi z}{l}, \qquad (8)$$

то частота колебаний определяется формулой

$$p_1 = \frac{\pi}{l}\sqrt{\frac{T_0}{m_0(1 + a_{11})}}, \ \text{с}^{-1}; \qquad (9)$$

$$a_{11} = \frac{1}{2\pi}\left(1 - \cos\frac{\pi l}{l_1}\right)\left(1 - \frac{l_1 l}{l^2 - 4l_1^2}\right)\frac{m_1}{m_0}.$$

Если струна находится между полюсами N и S магнита, рис. 4, то сила притяжения со стороны магнитов при смещении струны из нейтрального положения (сила, действующая на единицу длины струны) равна [2]:

$$g = F_2 - F_1 = K\Phi_0^2\left(\frac{l}{(l_1 - y)^2} - \frac{l}{(l_1 + y)^2}\right).$$

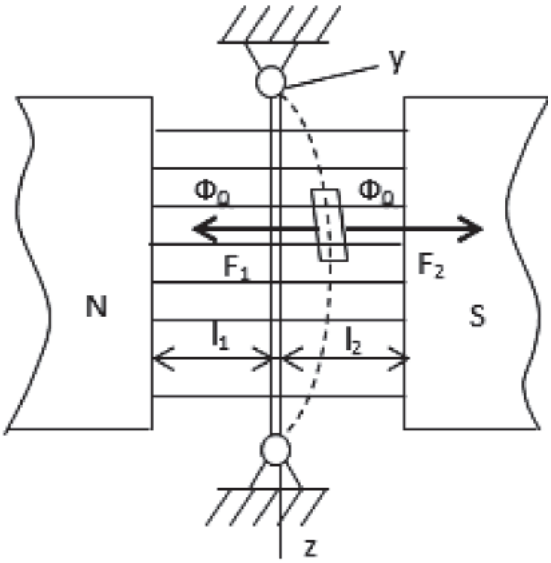


Рис. 4. Колебания струны в магнитном поле

В этом случае частоты малых колебаний:

$$p_n = \sqrt{\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 \frac{T_0}{m_0} - \frac{4\Phi_0^2 K}{m_0 l_1^3}},\ \text{с}^{-1} \qquad (10)$$

$$(n = 1, 2, \ldots)$$

Полученные формулы используются при определении натяжения струны и оценки влияния неточности формы на частоты колебаний.

Уравнение малых поперечных колебаний элемента датчика – стержня (балки) переменного поперечного сечения (рис. 5). Имеет вид

$$\frac{d^2}{dz^2}\left[EI_x(z)\frac{d^2 y}{dz^2}\right] + m_0(z)\frac{d^2 y}{dt^2} = 0, \qquad (11)$$

где $I_x(z)$ – момент инерции поперечного сечения стержня.

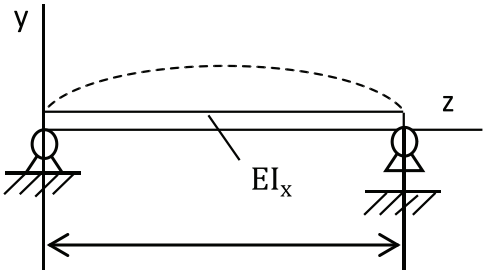


Рис. 5. Малые колебания стержня (балки)

Если EI_x = const и $m_0(z)$ = const, то уравнение (11) запишется в виде

$$EI_x \frac{d^4 y}{dx^4} + m_0 \frac{d^2 y}{dt^2} = 0. \qquad (12)$$

Его решение ищем в виде $y(z, t) = Z(z)\,T(t)$, что позволяет получить два уравнения:

$$EI_x Z^{\text{IV}} - m_0 p^2 Z = 0; \qquad (а)$$

$$\ddot{T} + p^2 T = 0, \qquad (б)$$

где p – частота колебаний стержня.

Решение уравнения (а) представляем в форме А.Н. Крылова:

$$Z(z) = C_1 K_1(\lambda z) + C_2 K_2(\lambda z) + \\ + C_3 K_3(\lambda z) + C_4 K_4(\lambda z),$$

где $K_i(\lambda z)$ – функции Крылова, а функция $Z(z)$ (и частоты колебаний стержня) удовлетворяет краевым условиям задачи (условиям закрепления балки).

Решение (б) записывается в виде $T = C_5 \cos pt + C_6 \sin pt$, где коэффициенты C_5 и C_6 определяются из начальных условий для начальной формы и начального распределения скоростей точек стержня.

Для шарнирно-опорной балки частоты колебаний определяются выражением

$$p_n = \frac{n^2 \pi^2}{l^2}\sqrt{\frac{EI_x}{m_0}},\ \text{с}^{-1},$$

где момент инерции поперечного сечения $I_x = \frac{bh^3}{12}$; b – ширина; h – толщина стержня (h = 1, 2, …).

Масса единицы длины $m_0 = bh\rho$, ρ – плотность материала стержня.

С учетом этого первая частота колебаний стержня в Гц определяется выражением

$$p_1 = k\frac{h}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}},\ \text{Гц},$$

где $k(h, E)$ = 1,03…1,23.

Анализ частоты упругих элементов с учетом допусков на геометрические размеры при $E = 1{,}92 \cdot 10^{11}$ н/м^2 – значение модуля упругости для сплава 45 НХТ после закалки 950°С в воду и старении 600°С в течение 2 ч.

$$b = 0{,}7^{-0{,}06}\ \text{мм},\ h = 0{,}22^{-0{,}030}\ \text{мм},$$

$$l = 5{,}7^{+0{,}075}\ \text{мм},\ \rho = 8{,}05 \cdot 10^3\ \text{кг/м}^3.$$

При уменьшении толщины стержня с h = 0,22 мм до h = 0,19 мм (на – 13,6%) для l = 5,7 мм частота уменьшается на ту же величину – 13,6%. При толщине стержня h = 0,22 мм изменение длины с l = 5,7 мм до l = 5,775 мм (увеличение на +1,3%) приводит к уменьшению частоты на – 2,6%. Изменение геометрических размеров с h = 0,22 мм, l = 5,7 мм до h = 0,19 мм, l = 5,775 мм вызывает уменьшение частоты на – 15,9%.

При уменьшении толщины стержня с h = 0,16 мм до h = 0,146 мм (на – 8,75%) для l = 5,7 мм частота уменьшается на ту же величину – 8,75%. При той же толщине стержня h = 0,16 мм увеличение длины с l = 5,7 мм до l = 5,775 мм (на +1,3%) приводит к уменьшению частоты на – 2,6%. Изменение геометрических размеров с h = 0,16 мм, l = 5,7 мм до h = 0,146 мм, l = 5,775 мм вызывает уменьшение частоты на – 11,1%. Полученные результаты справедливы для модуля упругости $E = 1{,}92 \cdot 10^{11}$ н/м^2.

Если $E = 1{,}82 \cdot 10^{11}$ н/м^2, что соответствует старению при 700°С, то А = $0{,}482 \cdot 10^4$ Гц/м. В этом случае

а) p_1 = 33625,93 Гц;

б) p_1 = 29040,57 Гц (–13,6%);

в) p_1 = 32758,81 Гц (–2,6%);

г) p_1 = 28291,71 Гц (–15,9%);

д) p_1 = 29163,04 Гц;

е) p_1 = 26648,47 Гц (–8,7 %);

ж) p_1 = 28450,72 Гц (–2,4 %);

з) p_1 = 25916,29 Гц (–11,1 %).

Полученные зависимости позволяют оценить влияние геометрических характеристик (допусков геометрических размеров) и свойств материала на частоту упругих элементов. Например, при изменении модуля упругости с $E = 1{,}92 \cdot 10^{11}$ н/м^2 до $E = 1{,}82 \cdot 10^{11}$ н/м^2 частота изменится при h = 0,22 мм, l = 5,7 мм с p_1 = 34523,54 Гц до p_1 = 33625,93 Гц (уменьшение на – 2,6 %); h = 0,16 мм, l = 5,7 мм с p_1 = 29941,52 Гц до p_1 = 29163,04 Гц (уменьшение на – 2,6 %).

Полученные зависимости частоты от геометрических размеров позволяют решить задачу в вероятностной постановке с использованием [3]. Действительно, пусть толщина стержня – случайная величина, которая подчинена нормальному закону с плотностью

$$f(h) = \frac{1}{\sigma_h \sqrt{2\pi}} e - \frac{(h - m_h)^2}{2\sigma_h^2}, \qquad (14)$$

где m_h, σ_h – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение толщины соответственно.

Учитывая, что частота связана с толщиной линейной зависимостью $p = k\frac{lE}{l^2}\sqrt{\frac{}{\rho}}h$, то распределение частоты также по нормальному закону с параметрами

$$m_p = k\frac{lE}{l^2}\sqrt{\frac{}{\rho}}m_h; \qquad (15)$$

$$\sigma_p = k\frac{lE}{l^2}\sqrt{\frac{}{\rho}}\sigma_h. \qquad (16)$$

Зная закон распределения частоты, цель и допуск на цель, можно определить вероятность попадания в заданный интервал и вычислить процент брака по частоте в зависимости от допуска на геометрические размеры.

Аналогично решается задача о влиянии случайного модуля упругости на частоту.

Вычисление закона распределения частоты с учетом целевого назначения и допуска на него позволяет определить вероятность попадания служебных характеристик в заданный интервал и вычислить процент несоответствий с учетом законов распределения геометрических размеров и модуля упругости материала. В работе приведены практические рекомендации по уменьшению вариации частот – обеспечение стабильности свойств материала (модуля упругости, вязкости); электромагнитных характеристик; центра и величины рассеивания геометрических размеров; параметров электроэрозионной и электрохимической обработок, используемых для изготовления датчика.

Разработка информационной системы выполнена с использованием данных [4, 5].

Заключение

Раскрыты закономерности и проанализировано влияние параметров материала и технологического процесса на изменение частотных характеристик вибрационного датчика. Предложены рекомендации по обеспечению стабильности функциональных характеристик с учетом параметров датчика и параметров технологического процесса. Выполненные работы позволили определить рациональные границы допусков на геометрические размеры с учетом свойств материала и уменьшить вариации функциональных характеристик датчика, обеспечив увеличение числа выхода годных датчиков при производстве. На основе данных, полученных в результате проведенного анализа, были определены основные положения разработки информационной системы для проведения расчетов с целью уменьшения вариации функциональных характеристик вибрационного датчика.

Список литературы

1. Гвоздева Т.В., Баллод Б.А. Проектирование информационных систем. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 508 с.

2. Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. – М.: Физматгиз, 1960. – 580 с.

3. Петров В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

4. Постоянные магниты: справочник / под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Энергия, 1976. – 376 с.

5. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.

References

1. Gvozdeva T.V., Ballod B.A. Proektirovanie informacionnyh sistem. Rostov-na-Donu: Feniks, 2009. 508 p.

2. Den-Gartog Dzh.P. Mehanicheskie kolebanija. M.: Fizmatgiz, 1960. 580 p.

3. Petrov V.N. Informacionnye sistemy. SPb.: Piter, 2003. 688 p.

4. Postojannye magnity: spravochnik / pod red. Ju. M. Pjatina. M.: Jenergija, 1976. 376 p.

5. Pugachev V.S. Teorija sluchajnyh funkcij i ee primenenie k zadacham avtomaticheskogo upravlenija. M.: Fizmatgiz, 1962. 884 p.

Рецензенты:

Чечулин Ю.Б., д.т.н., профессор кафедры «Детали машин», Механико-машиностроительный институт, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Паршин В.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлургические и роторные машины», Механико-машиностроительный институт, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 519.85

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «КАРМА» И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ

Горбунов М.А., Медведев А.В., Победаш П.Н., Смольянинов А.В.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет экономики, статистики и информатики», Кемеровский филиал, Кемерово,
e-mail: michaelgorbunov@mail.ru, alexm_62@mail.ru, pobed_pnp@mail.ru

В статье приводится описание финансово-аналитического программного продукта, в основе которого лежит решение линейной задачи оптимального управления в дискретном времени. Кратко изложена концепция моделирования экономических процессов и математический инструментарий для решения задач указанного класса в целях бизнес-планирования. Описана технология построения информационных услуг, а также режимы работы автоматизированного программного комплекса. Приводится краткая характеристика этих режимов и описываются конкурентные преимущества пакета с точки зрения занесения и обработки информации в режиме конструктора моделей и автоматизированного рабочего места бизнес-аналитика. Рассмотрен ряд приложений пакета для решения задач бизнес-планирования как на микро-, так и на мезоэкономическом уровне в аспектах анализа инвестиционных проектов и финансово-хозяйственной деятельности, что в совокупности понимается как стратегическое бизнес-планирование. Подчеркивается необходимость использования именно оптимизационных подходов к моделированию и оценке эффективности стратегического бизнес-планирования.

Ключевые слова: пакет финансового анализа, технология построения информационных услуг, бизнес-планирование, инвестиционный проект, модель оптимального управления

AN OPTIMIZATION PACKAGE «KARMA» AND ITS APPLICATION IN THE BUSINESS PLANNING TASKS

Gorbunov M.A., Medvedev A.V., Pobedash P.N., Smolyaninov A.V.

Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Kemerovo branch, Kemerovo, e-mail: michaelgorbunov@mail.ru, alexm_62@mail.ru, pobed_pnp@mail.ru

The article describes the financial and analytical software, based on the solution of the optimal control problem. Summarized the concept of modeling and mathematical tools of optimal control for solving of business planning problems. The technology of information services building and the modes of operation of the automated software system are described. A brief description of the operating modes and the competitive advantages of the package in terms of entering and processing of information in design models and workstation of business analyst. Considered a number of applications using the package for solving of business planning problems at both the micro- and mesoeconomic level on aspects of investment projects analysis and the financial and economic activity. It is understood, in the aggregate, as a strategic business planning. Emphasizes the need to use exactly optimization approaches to modeling and evaluation of strategic business planning.

Keywords: financial analysis program package, technology of creation of information services, business planning, investment project, optimal control problem

В условиях рыночной экономики предприниматели и бизнесмены сталкиваются с проблемами определения приоритетов развития своего бизнеса, поиска и оценки эффективности распределения ресурсов для обеспечения такого развития и в первую очередь инвестиционного ресурса. Решение указанных проблем в настоящее время практически невозможно без применения автоматизированных программных средств обработки бизнес-информации.

Современные российские (Project Expert, Альт-Инвест, ИНЭК-Аналитик и др.) и зарубежные (SAP R/3, COMFAR и др.) программные продукты, ориентированные на бизнес-планирование, включающие модули планирования ресурсов предприятия (ERP-приложения), управления бизнес-процессами (BPM-приложения) и другие, базируются [6] на использовании преимущественно имитационных моделей описания комплекса бизнес-процессов, то есть не являются задачами оптимального управления. Это не позволяет находить объемы инвестиций, производства продукции и соответствующие показатели финансово-хозяйственной деятельности, выявляющие наилучшие (в смысле выбранных критериев) варианты реализации бизнес-процессов с точки зрения решения задач планирования инвестиционной, производственной, финансовой деятельности (бизнес-планирования). С другой стороны, имеющиеся оптимизационные пакеты либо излишне идеализируют деятельность предприятия, описывая ее производственными функциями абстрактно-математического характера, либо (например, [3]) труднодоступны и громоздки в использовании, что зачастую не удовлетворяет целевую аудиторию конечных пользователей данных пакетов (предпринимателей, бизнес-аналитиков, экономистов).

В этой связи для решения указанных задач бизнес-планирования, на наш взгляд, целесообразно ориентироваться на комбинацию имитационных и оптимизационных методов [1], разрабатывая оптимизационные пакеты финансового анализа, основанные на моделях предприятия, использующих универсальные бухгалтерские алгоритмы и учитывающих юридические особенности, принятые в Российской Федерации при расчете доходных и расходных составляющих финансовых потоков производителя. Указанным требованиям, на наш взгляд, удовлетворяет разработанный авторами программный продукт [4]. В данной работе кратко описывается лежащее в его основе математическое и программное обеспечение поддержки принятия оптимальных решений.

Рассмотрим задачу бизнес-планирования в форме многокритериальной, многошаговой задачи линейного программирования (ММЗЛП) вида

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t); \quad x(t) = a;$$

$$C(t)x(t) + D(t)u(t) \le h(t);$$

$$u(t) \ge 0 \ (t = 0, \ldots, T-1); \qquad (1)$$

$$\overline{J} = \left\{J^1, \ldots, J^K\right\} \to \max;$$

$$J^\nu = \sum_{t=0}^{T-1}\left[(a^\nu(t), x(t)) + (b^\nu(t), u(t))\right] + (a^\nu(T), x^\nu(T)),$$

где $u(t) = [u_l(t)]$ и $x(t) = [x_i(t)]$ – соответственно управляющий и фазовый векторы; $A(t) = [a_{ij}(t)]$; $B(t) = [b_{il}(t)]$; $C(t) = [c_{kj}(t)]$; $D(t) = [d_{ik}(t)]$ матрицы; a, $a^\nu(t) = [a_i(t)]^\nu$; $b^\nu(t) = [b_l(t)]^\nu$; $s(t) = [s_i(t)]$; $h(t) = [h_k(t)]$ – векторы; $(i,j = 1,\ldots,n$; $l = 1,\ldots,r_t$; $k = 1,\ldots,m$; $t = 0, \ldots, T$; $\nu = 1, \ldots, K)$; J^ν – ν-й целевой критерий ($\nu = 1, \ldots, K$); K – количество критериев; r_t, m, T – размерность управляющего вектора, число ограничений и временн*ы*х шагов соответственно; (α_0,β_0) – скалярное произведение векторов α_0, β_0; n – количество видов продукции.

Переменные $u(t)$ и $x(t)$, а также элементы матриц и векторов уравнений движения, ограничений и целевых критериев подробно описаны в работе [10]. В работе [7] приведен содержательный смысл используемых в (1) переменных.

В экономических системах справедлив закон временной стоимости денежных потоков, гласящий, что любой сегодняшний финансовый поток обесценивается с течением времени. Для задачи (1) указанный закон может быть смоделирован применением операции дисконтирования целевых критериев:

$$\overline{a^\nu(t)} = \frac{a^\nu(t)}{(1+r)^t}, \ (t = 0,\ldots,T);$$

$$\overline{b^\nu(t)} = \frac{b^\nu(t)}{(1+r)^t}, \ (t = 0,\ldots,T-1); \qquad (2)$$

$$\nu = 1,\ldots,.K.$$

Учитывая особенность коэффициентов целевых критериев, содержащих дисконтирующие множители, с помощью z-преобразования [12] или z^T-преобразования [15] от анализа задачи (1) можно перейти к исследованию ее статических аналогов (z- или z_T-задач) меньшей размерности:

$$^{(k)}\boldsymbol{c}_{1\times 2n} \cdot X_{2n\times 1}(z) \to \max;$$

$$A_{L\times 2n} \cdot X_{2n\times 1}(z) \le b_{L\times 1}, \ (k = 1, \ldots, K) \qquad (3)$$

$$^{(k)}\boldsymbol{c}_{1\times 2n} \cdot X_{2n\times 1}(z_T) \to \max;$$

$$A_{L\times 2n} \cdot X_{2n\times 1}(z_T) \le b_{L\times 1}, \quad (k = 1, \ldots, K), \qquad (4)$$

где L – количество ограничений, описывающих конкретный вид производственной деятельности; $b_{L\times 1}$ – вектор-столбец правых частей ограничений; $c_{1\times 2n}$ – вектор-строка коэффициентов целевой функции; $A_{L\times 2n}$ – матрица коэффициентов ограничений.

Оптимальные решения построенных таким образом задач вида (3), (4) сохраняют [12] некоторые важные свойства решений исходной задачи (1), а сами задачи могут быть теоретически исследованы и численно решены (например, на основе вариантов симплекс-метода Дж. Данцига) при практически значимых размерностях, определяемых количеством видов продукции и содержательных ограничений (в авторских расчетах значения n достигали нескольких десятков) в моделируемых бизнес-процессах.

Технология построения информационных услуг

На основе описанного выше математического инструментария разработан комплекс прикладных программ [4, 13], представляющий собой совокупность автоматизированной информационной системы внесения, обработки и анализа входной информации, решателя и многопараметрического графоанализатора решений одно- и многокритериальных задач линейного программирования (МЗЛП). Пакет [4] ориентирован на различных пользователей. Специалисту-математику он позволяет создавать и корректировать математические модели в форме МЗЛП,

а также контролировать корректность внесения информации. Экономисту-аналитику, бизнесмену – в удобном режиме создавать собственную конфигурацию бизнес-проекта (выделяя блоки характеристик активов, продукции, внешнего окружения проекта, финансовый блок и т.п.) и заносить входную статистическую и экспертную информацию. А обоим вместе – представлять результаты расчетов как в виде графиков многопараметрических зависимостей, так и в виде Парето-множеств в критериальном пространстве (двух или трех критериев). Пакет [4] предусматривает два режима работы –

1) конструктор моделей;

2) автоматизированное рабочее место аналитика, краткое описание которых приводится далее.

Конструктор моделей

При решении как много-, так и одношаговых задач оптимального управления вида (1) или (3) часто бывает затруднено занесение матричной информации, в первую очередь из-за большого количества или значительной размерности исходных матриц и, как следствие, отсутствия наглядности занесенной информации. Конструктор моделей позволяет создавать пользовательские модели в визуальном режиме, поблочно формируя указанные матрицы. При этом пользователь имеет возможность редактировать векторно-матричную информацию, имея перед глазами как образ всей матрицы, так и ее произвольных блоков (как показано на рис. 1, где представлен типичный скриншот конструктора моделей).

Кроме того, в пакете также имеется отладчик, позволяющий обнаруживать ошибки или противоречия в занесенной числовой информации) в занесении числовой информации модели (рис. 2).

Автоматизированное рабочее место (АРМ) бизнес-аналитика

В этом режиме исследователь после внесения числовой информации из предметной области на выходе получает результаты расчета, а также возможности их графического анализа. Данный режим работы предъявляет минимальные требования к подготовке пользователя – владение информацией о содержательном смысле числовых параметров модели, – предоставляя возможность легко освоить работу с пакетом студентам или специалистам с относительно небольшим набором знаний в предметной области. Пример окна интерфейса работы пакета в описываемом режиме приведен на рис. 3.

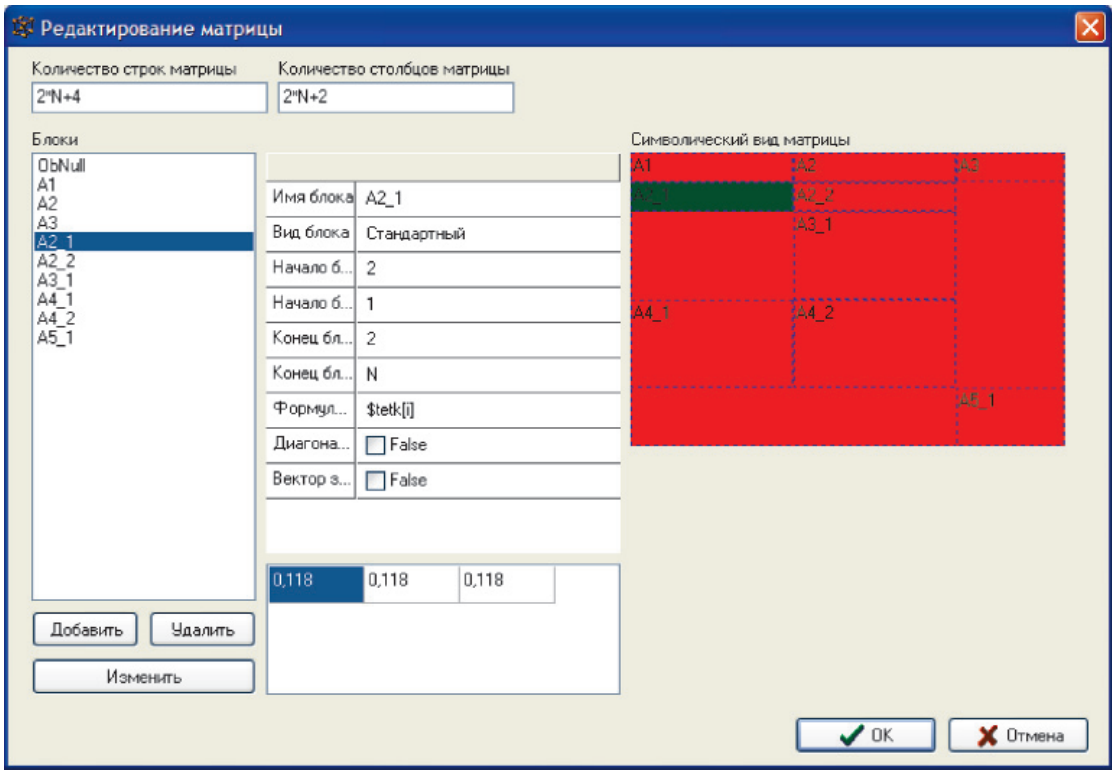
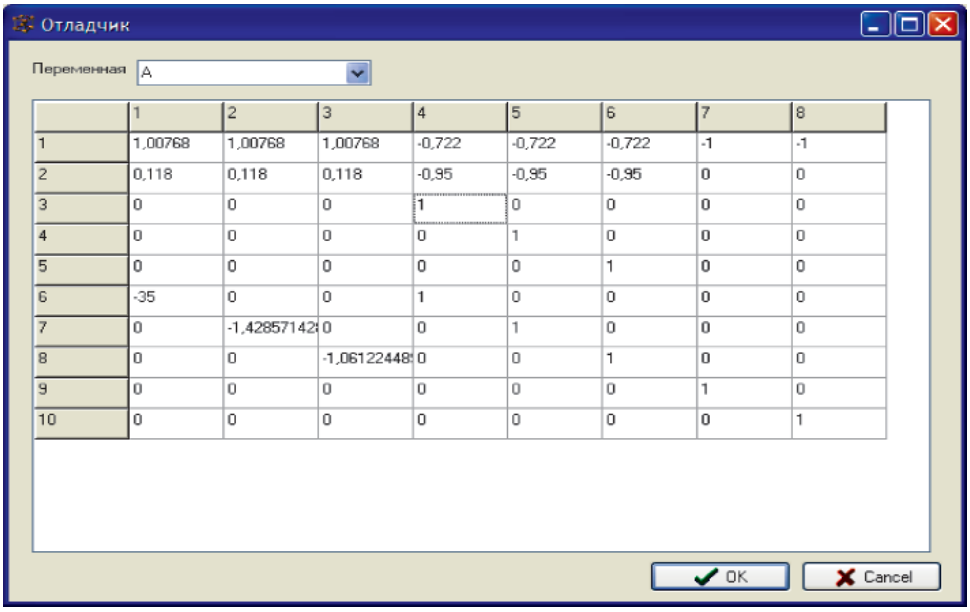


Рис. 1. Визуальный редактор матриц

Пакет [4] позволяет построить большое количество графиков зависимостей показателя эффективности бизнес-проекта от параметров модели с возможностью выбора шага расчетов в широком диапазоне изменения значений параметров. Кроме того, на одном рисунке можно проводить параметрический анализ графиков, меняя значения параметров в соответствующих окнах интерфейса (слева на рис. 3). Пакет предусматривает также построение двух- и трехмерных Парето-множеств (в пространстве критериев) при решении многокритериальных задач.



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00768	1,00768	1,00768	-0,722	-0,722	-0,722	-1	-1
2	0,118	0,118	0,118	-0,95	-0,95	-0,95	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0
6	-35	0	0	1	0	0	0	0
7	0	-1,42857142	0	0	1	0	0	0
8	0	0	-1,06122448	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 2. Отладчик матриц

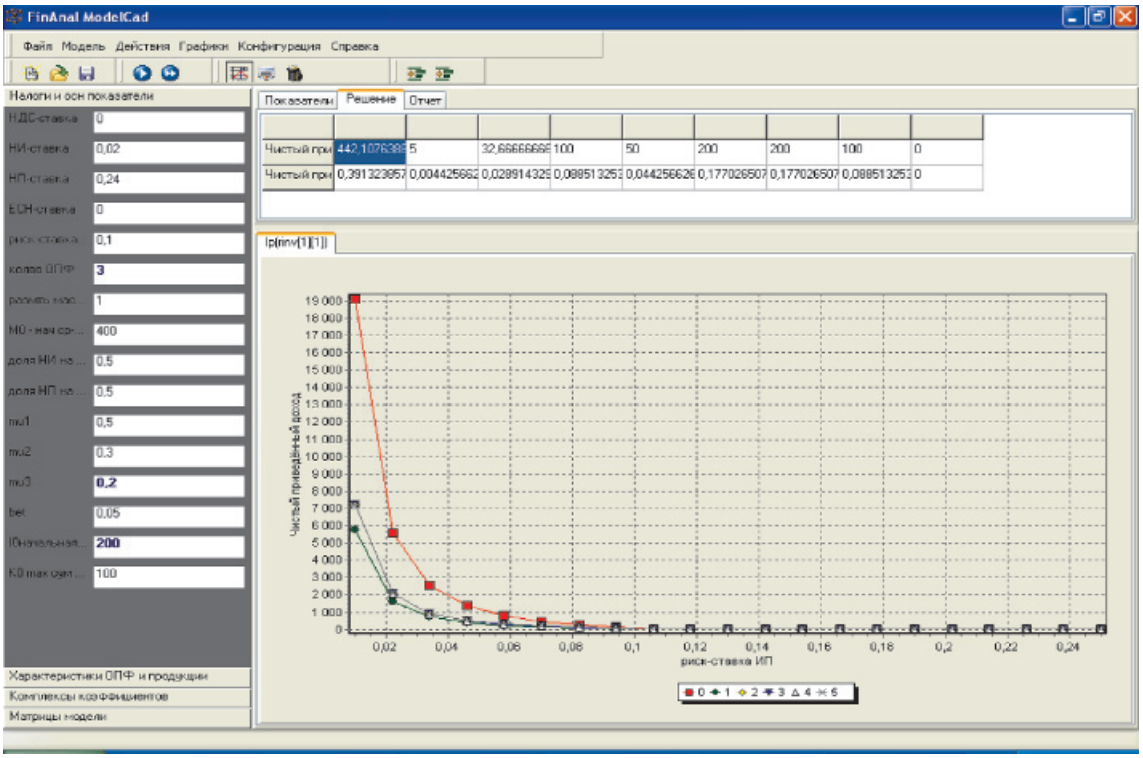


Рис. 3. Окно интерфейса АРМ бизнес-аналитика

К основным преимуществам созданного программного обеспечения, на наш взгляд, относятся:

- возможность создания математической модели в пользовательском режиме;
- наличие анализатора математических формул;
- визуальный редактор матриц, задаваемых поблочно, позволяющий заполнять их по заданным формулам, с помощью анализатора формул;
- возможность разделения параметров модели по группам для создания собственной конфигурации проекта;
- возможность защиты данных модели от несанкционированного доступа;
- возможность добавления описания модели;
- высокая скорость расчетов (график, содержащий информацию, получаемую при последовательном решении 100 задач линейного программирования, строится не более чем за 1 секунду);
- поддержка возможности выбора различных математических решателей с учетом математической модели, описывающей бизнес-проект. Например, библиотека с реализацией одно- или двухфазного симплекс-метода и библиотека с реализацией решателя с помощью генетических алгоритмов и пр.);
- встроенная система шифрования Blowfish;
- интуитивно понятный пользовательский интерфейс;
- построение и параметрический анализ большого количества графиков зависимостей от любых параметров модели на одном рисунке, а также параметрический анализ Парето-множеств;
- гибкая настройка вида графиков (легенда, метки, значения в точках);
- использование при вводе-выводе информации оригинального быстродействующего графического анализатора функций [2], позволяющего эффективно обрабатывать многопараметрические функции;
- масштабирование отдельных частей графиков для более детального их анализа.

Таким образом, комплекс программ [4, 13] является для конечного пользователя удобной основой при решении задач бизнес-планирования и получения оптимальных значений объемов инвестиций, производства продукции и соответствующих параметров финансово-хозяйственной деятельности предприятий (потоков прибыли, амортизации, налогов, заемных и собственных средств производителя и пр.). Кроме того, пакет совершенствуется и развивается [14] в направлении интересов конечного пользователя – экономиста, финансиста, организатора бизнеса, управленца регионального уровня, – дополняясь блоками предобработки (автоматизированного внесения информации), а также автоматизированной постобработки полученной при решении информации.

Пакет [4] в настоящее время используется при расчете ряда инвестиционных проектов стратегического планирования в регионе [9, 11], бизнес-проектов малого и среднего бизнеса, оценки эффективности коммерческих проектов, проектов производственного [1], финансового [8] и управленческого [5] содержания.

Список литературы

1. Горбунов М.А. Инструменты диверсификации деятельности организации / М.А. Горбунов, А.В. Медведев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12(5). – С. 1012–1016.

2. Графический анализатор математических функций и решений алгебраических соотношений с параметрами / Программа для ЭВМ. Свидетельство Роспатента № 2004611968 от 26.08.2004. Правообладатели: А.В. Медведев, А.В. Смольянинов.

3. Гурман В.И., Матвеев Г.А., Трушкова Е.А. Социо-эколого-экономическая модель региона в параллельных вычислениях // Управление большими системами: сборник трудов. – 2011. – № 32. – С. 109–130.

4. Конструктор и решатель дискретных задач оптимального управления («Карма») / Программа для ЭВМ. Свидетельство Роспатента № 2008614387 от 11.09.2008. Правообладатели: А.В. Медведев, П.Н. Победаш, А.В. Смольянинов, М.А. Горбунов.

5. Косинский П.Д., Медведев А.В., Меркурьев В.В., Победаш П.Н. Математическое моделирование агломерации муниципальных образований // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8(6). – С. 1446–1449.

6. Медведев А.В. Концепция оптимизационно-имитационного бизнес-планирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 1. – Ч. 2. – С. 198–201.

7. Медведев А.В. Об эффективном инструментарии анализа экономических систем // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11(5). – С. 763–766.

8. Медведев А.В. Поддержка принятия решений при управлении региональной налоговой политикой // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4. – С. 25–28.

9. Медведев А.В. Поддержка принятия решений при управлении экономикой региона. монография. – Кемерово: КемГУ, 2011. – 106 с.

10. Медведев А.В., Победаш П.Н. Применение z-преобразования и дискретного принципа максимума к анализу модели реальных инвестиций // Вестник СибГАУ. – 2006. – № 4(11). – С. 32–37.

11. Медведев А.В. Математическая модель оценки инвестиционной привлекательности региона // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2. – С. 357–361.

12. Медведев А.В. Применение z-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития. монография. – Красноярск: Изд-во СибГАУ имени академика М.Ф. Решетнева. – 2008. – 228 с.

13. Программа для решения многошаговой задачи линейного программирования («Линейная динамика») /

Программа для ЭВМ. Свидетельство Роспатента № 2004611491 от 17.06.2004. Правообладатели: А.В. Медведев, П.Н. Победаш.

14. Трусов А.Н., Иванченко П.Ю., Кацуро Д.А. Разработка автоматизированной информационной системы для оптимизационного анализа экономических процессов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 11. – С. 38–40.

15. Pobedash P.N. Applications of Operational Approach to Evaluation of Projects of Economic Systems Development // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. – 2013. – № 6(4). – P. 495–505.

References

1. Gorbunov M.A., Medvedev A.V. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, no. 12 (5), 1012–1016.

2. Graphic analyzer of mathematical functions and solutions of algebraic relations. Computer program. Certificate of Rospatent no. 2004611968 from 26.08.2004. Copyright: A.V. Medvedev, A.V. Smolyaninov.

3. Gurman V.I., Matveev G.A., Trushkova E.A. *Upravleniye bol'shimi sistemami. Sbornik trudov* [Managing large systems: a collection of papers], 2011, no. 32, 109–130.

4. Designer and solver of discrete optimal control problems. Computer program. Certificate of Rospatent no. 2008614387 from 11.09.2008. Copyright: A.V. Medvedev, P.N. Pobedash, A.V. Smolyaninov, M.A. Gorbunov.

5. Kosinski P.D., Medvedev A.V., Merkuryev V.V., Pobedash P.N. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 8(6), 2860–2863.

6. Medvedev A.V. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladhykh i Fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of applied and fundamental research], 2014. no. 1(2), 198–201.

7. Medvedev A.V. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladhykh i Fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of applied and fundamental research], 2014. no. 11(5), 763–766.

8. Medvedev A.V. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladhykh i Fundamentalnykh issledovaniy* [International Journal of applied and fundamental research], 2014, no. 4, 25–28.

9. Medvedev A.V. *Podderzhka prinyatiya reshenii pri upravlenii ekonomikoi regiona* [Support decision-making in the management of the region economy, Monograph], Kemerovo, Kemerovo State University, 2011, 106 p.

10. Medvedev A.V., Pobedash P.N. *Vestnik sibirskogo gosudarstvennogo universiteta imeny akademika M.F. Reshetneva.* [Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after academician M.F.Reshetnev], 2006, 4(11), 220–223.

11. Medvedev A.V. *Sovremennye naukoyemkiye tekhnologhii* [Modern high technologies], 2013, no. 8–2, 357–361.

12. Medvedev A.V. *Primeneniye z-preobrazovaniya k issledovaniyu mnogokriterial'nykh lineinykh modeley reghional'nogo economicheskogo razvitiya* [Application of the z-transformation to the study of multiobjective linear models of regional economic development. Monograph], Krasnoyarsk, SibSAU named after M.F. Reshetnev, 2008, 228 p.

13. The program for the solution of multi-step linear control problem. Computer program. Certificate of Rospatent no. 2004611491 from 17.06.2004. Copyright: A.V.Medvedev, P.N. Pobedash.

14. Trusov A.N., Ivanchenko P.Yu., Katsuro D.A. *Sovremennye naukoyemkiye tekhnologhii* [Modern high technologies], 2014, no. 11, 38–40.

15. Pobedash P.N. Applications of Operational Approach to Evaluation of Projects of Economic Systems Development // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, 2013, 6(4), 495–505.

Рецензенты:

Зыков В.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела (ОАО «ВНИМИ»), Кемеровское представительство, г. Кемерово;

Косинский П.Д., д.э.н., профессор кафедры государственного и муниципального управления Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово.

Работа поступила в редакцию 18.02.2015.

УДК 624.01

ОБОСНОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГРЮБЛЕРА

Дворников Л.Т., Гудимова Л.Н.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», Новокузнецк, e-mail: lyu-gudiova @yandex.ru

В настоящей статье проведён анализ исследований по поиску и созданию цепей Грюблера с числом звеньев до $n = 8$. Приведены восьмизвенные замкнутые кинематические цепи, построенные самим Грюблером, показан общий подход, используемый им при создании таких цепей. Изложен новый метод поиска многозвенных шарнирных замкнутых цепей, заключающийся в усложнении менее сложных цепей путем прибавления к ним двух кинематических пар, переводя цепь Грюблера в группу Ассура, затем добавления одного звена с одним шарниром, организуя из групп Ассура механизм, и замыкания цепи безшарнирным звеном с превращением её в более сложную цепь Грюблера. В результате проведенного исследования были найдены 5 новых структур восьмизвенных цепей Грюблера. Таким образом, установлен полный состав таких цепей в количестве 22 структур.

Ключевые слова: цепи Грюблера, алгоритм построения, подвижность, группы Ассура

JUSTIFICATIONS OF A UNIVERSAL SUNTHESIS METHOD OF KINIMATIC CHAINS

Dvornikov L.T., Gudimova L.N.

FGBOU HPE «Siberian State Industrial University», Novokuznetsk, e-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

The paper deals with the research analysis devoted to the search and formation of Grybler's chains with the chain number equal to $n = 8$. The authors give eight-bar closed kinematic chains formed by Grybler, as well as show the general approach used by him when forming such chains. A new search method of multilink jointed closed chains is stated in the article. It consists in complicating of less complex chains by means of adding to them two kinematic pairs, transferring the Grybler's chain into the Assur group, and then adding one link with one joint, organizing from the Assur group the mechanism and the chain closing by joint-free link with its transformation into more complex Grybler's chain. In the study were found 5 new structures osmislennij chains of Grubler. Thus there is a complete composition of such circuits in the amount of 22 structures.

Keywords: Griibler circuit, an algorithm for constructing, mobility, group Assur

Одной из важных задач теории механизмов и машин является задача синтеза их структур. За более чем полуторавековую историю науки о машинах, если её отсчитывать от основополагающих научных статей академика Чебышева П.Л. (1852–1870 гг.), когда в частности им был обоснован метод структурного анализа плоских шарнирных механизмов [4] с использованием формулы

$$3n - 2p = 1, \qquad (1)$$

в которой через n обозначалось число подвижных звеньев кинематической цепи, через p – число одноподвижных кинематических пар – шарниров, а единица определяла общую подвижность механизма. Были разработаны три метода структурного синтеза кинематических цепей – это метод [5] немецкого ученого Грюблера М.Ф. (1873 г.), метод [1] российского ученого Ассура Л.В. (1913 г.) и метод [2] одного из авторов настоящей статьи (1993 г.). Несмотря на то, что метод Грюблера был разработан более 140 лет назад, он (метод) не потерял своей актуальности до настоящего времени благодаря его очевидной практической применимости.

Общий подход Грюблера при создании замкнутых цепей

Чтобы воспользоваться методом Грюблера, достаточно особым образом построить такие кинематические цепи, при остановке в которых отдельных звеньев цепи получать вполне работоспособные механизмы. Цепи, предложенные Грюблером, впоследствии получили название «цепей Грюблера». Сам Грюблер в работе [5] показал лишь общий подход к отысканию таких цепей с использованием системы уравнений

$$\begin{cases} 3n - 2p = 4, \\ n = n_2 + n_3 + n_4 + ..., \\ 2p = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + ..., \end{cases} \qquad (2)$$

где n_2, n_3, n_4 – соответственно числа двух-, трех-, четырех- и т.д. парных звеньев.

Первое уравнение системы (2) было заимствовано из работы [4] Чебышева П.Л. и преобразовано Грюблером к свободным замкнутым цепям, обладающим тремя независимыми движениями в плоскости и одной внутренней относительной подвижностью звеньев.

Используя систему (2), Грюблер показал, что цепи, которые ей удовлетворяют, могут иметь лишь четное число звеньев $n = (4 + 2p)/3$. Обратим внимание на то, что это равенство имеет одно особое решение, когда p принимает значение, равное единице. В этом случае n оказывается равным двум ($n = 2$). Эта цепь становится соответствующей условию Грюблера. Все другие нечетные числа p от трех и выше не дают целого значения n.

Трудно предположить, по какой причине сам автор метода (Грюблер) не рассмотрел структуры цепей ни с $n = 2$, ни даже с $n = 4$ и $n = 6$, в то время как цепям с $n = 8$ посвятил достаточно большое внимание. Он построил двенадцать таких цепей и тем самым методически позволил его последователям найти более простые, а именно четырех- и шестизвенные цепи.

Все эти цепи приведены нами на рис. 1, а именно, двухзвенная (*a*), четырехзвенная (*b*) и две отличающиеся друг от друга шестизвенные цепи (c_1 и c_2).

бому открытому шарниру *A* или *B* добавить одно звено 3 с шарниром *D*, то цепь станет механизмом, т.е. её подвижность окажется равной $W = 1$ ($n = 3$, $p = 4$). Далее, если шарниры *D* и *C* замкнуть ещё одним звеном 4 без добавления шарниров, то получим новую цепь Грюблера с подвижностью $W = 4$ ($n = 4$, $p = 4$). Этот алгоритм может быть использован для получения и шестизвенных цепей, путем добавления к четырехзвенной цепи двух шарниров, звена с шарниром, затем звена без шарнира. Причем произвести эти добавления можно разным способом – или добавляя шарниры к рядом находящимся звеньям 2 и 3, что дает цепь с двумя замкнутыми четырехугольными контурами (рис. 1, c_1), или добавляя шарниры к противоположно находящимся звеньям 2 и 4, что дает иную шестизвенную цепь с одним четырехугольным и одним пятиугольным замкнутыми контурами (рис. 1, c_2). Цепи эти отличаются и тем, что по внешнему обходу в цепи $в_1$ шесть звеньев, а в цепи $в_2$ – пять звеньев.

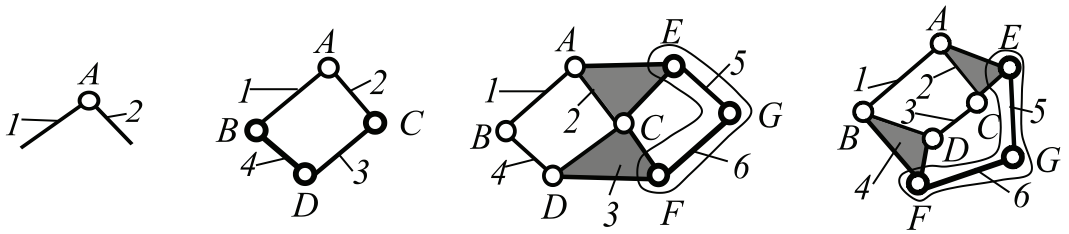


Рис. 1. Простейшие цепи Грюблера

Казалось бы, что цепь (*a*) (впервые приводимая в настоящей работе) не вполне удовлетворяет условиям Грюблера, а именно условию замкнутости. Однако она именно замкнутая, т.к. не имеет открытых шарниров, к которым можно было бы присоединить другие звенья. Эта цепь не просто увеличивает общее число цепей Грюблера, она обладает особым качеством, т.к. может быть использована как исходная – «материнская» цепь для построения всех других – более сложных.

Универсальный метод создания структур цепей Грюблера

Покажем, как можно организовать четырехзвенную цепь (рис. 1, *b*) из исходной двухзвенной цепи.

Если к двухзвенной цепи с шарниром А (рис. 1, *a*) прибавить на открытых концах звеньев 1 и 2 два шарнира В и С, то появится структура, удовлетворяющая условию $W = 0$ ($n = 2$, $p = 3$), т.е. группа нулевой подвижности – группа Ассура. Если далее к лю-

Обе эти цепи удовлетворяют условиям Грюблера, а именно в них по шесть звеньев и по семь шарниров, т.е. их подвижность по (2) $W = 4$, к тому же в них по два трехпарных ($n_3 = 2$) и по четыре двухпарных звеньев ($n_2 = 4$) и $n_2 + n_3 = 6$, т.е. удовлетворяется условие $p = 7$ и $2p = 2n_2 + 3n_3$.

Практическую значимость метода Грюблера можно показать, изобразив описанные двух-, четырех- и шестизвенные цепи в виде механизмов, появляющихся при остановке одного из звеньев цепи (рис. 2). Останавливая звено 1 (схема *a*), получаем однозвенный приводной механизм, останавливая любое из четырех звеньев цепи (схема *b*), получаем шарнирный четырехзвенник. Последовательно останавливая поводки 1 или 4, или 5, или 6 шестизвенной цепи (c_1), можно построить механизмы (*c*) и (*d*), отличающиеся лишь ведущим звеном, в схеме (*c*) – двухшарнирным звеном, в схеме (*d*) трехшарнирным.

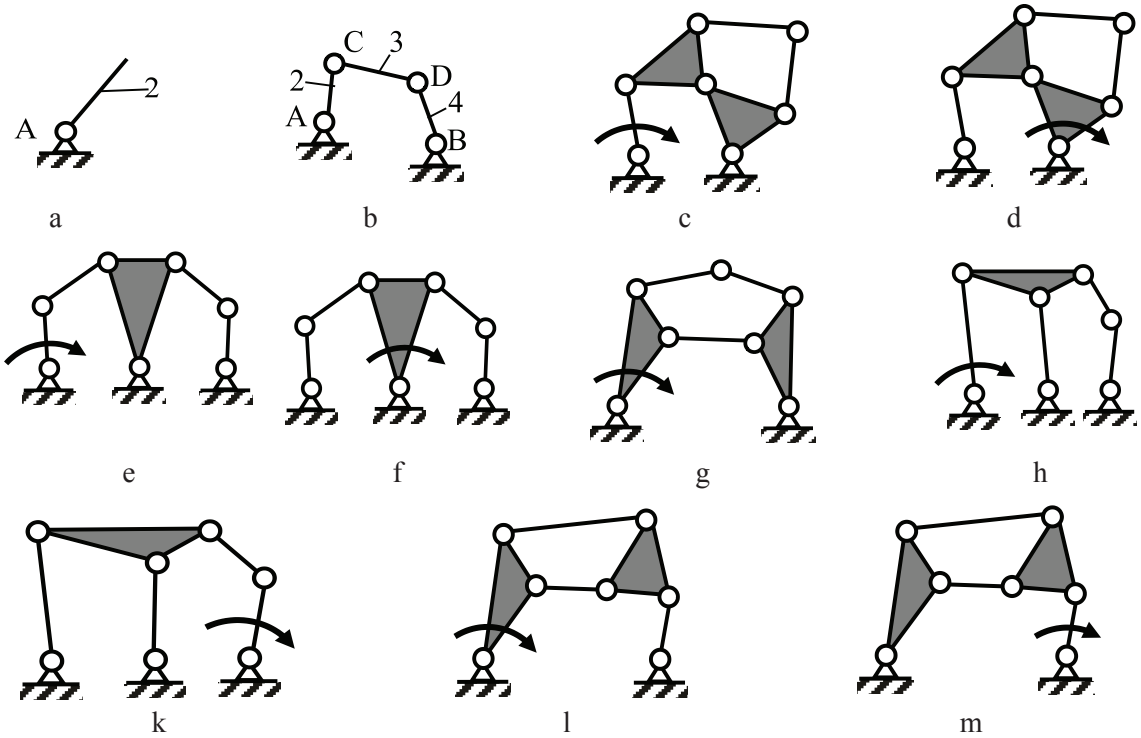


Рис. 2. Схемы механизмов, полученные из простейших двух-, четырех- и шестизвенных цепей Грюблера

При остановке звена 2 или 3 цепи (c_1) (рис. 1) получим схемы механизмов (*e*) и (*f*), также отличающиеся ведущим двухшарнирным и трехшарнирным звеньями. При остановке звена 1 цепи (c_2) получаем единственный механизм (*g*), при остановке звена 4 цепи (c_2) появляются два механизма (*h*) и (*k*), отличающиеся ведущим звеном 1 или 6, а при остановке звена 5 или 6 также появятся два механизма (*l*) и (*m*), в одном из них ведущее звено трехпарное, в другом – двухпарное.

Все приведенные на рис. 2 схемы механизмов являются полным составом одно-, четырех- и шестизвенных плоских шарнирных механизмов, широко используемых в практике, т.е. относящихся к классическим. Их схемы можно видоизменять, лишь заменяя некоторые из шарниров на поступательные кинематические пары, но и этот прием вполне ограничен по числу возможных схем.

Обратимся теперь к поиску всех восьмизвенных цепей Грюблера. Выше было отмечено, что к построению таких цепей впервые обратился сам Грюблер еще в 1873 г., им было построены и приведены в работе [5] двенадцать схем, которые были предварительно описаны таблицей, показанной нами.

Эти цепи приведены нами на рис. 3 в том порядке, в котором нашел их Грюблер, и без каких-либо изменений в начертании. Отметим, что никаких пояснений к построению цепей Грюблер не оставил.

Позже к этому вопросу обращались и другие исследователи. Общий анализ таких цепей был проведен Э.Е. Пейсахом в работе [3]. Он нашел и показал всего шестнадцать цепей. На рис. 4 приводятся дополнительные к схемам Грюблера (рис. 3) пять цепей, приведенных Э.Е. Пейсахом. Отметим, что цепь № 4 Грюблера, у Пейсаха в работе [3] показана не была.

Чтобы завершить эти поиски, воспользуемся методом, который показан нами выше с использованием «материнской» цепи. Начнем нахождение восьмизвенных цепей с шестизвенной цепи (c_1) (рис. 1). В этом случае при последовательном добавлении к двум разным звеньям от первого до шестого по две кинематические пары, затем звена с шарниром и звена без шарнира удалось получить семь различных структур цепей, однако шесть из них уже ранее были приведены в работах Грюблера [5] и Пейсаха [3], а цепь, показанная на рис. 5, *a*, в этой работе приведена впервые.

Таблица М. Грюблера, используемая при построении цепей [5]

Варианты	Число двухшарнирных звеньев, n_2	Число трехшарнирных звеньев, n_3	Число четырехшарнирных звеньев, n_4
α	4	4	0
β	5	2	1
γ	6	0	2

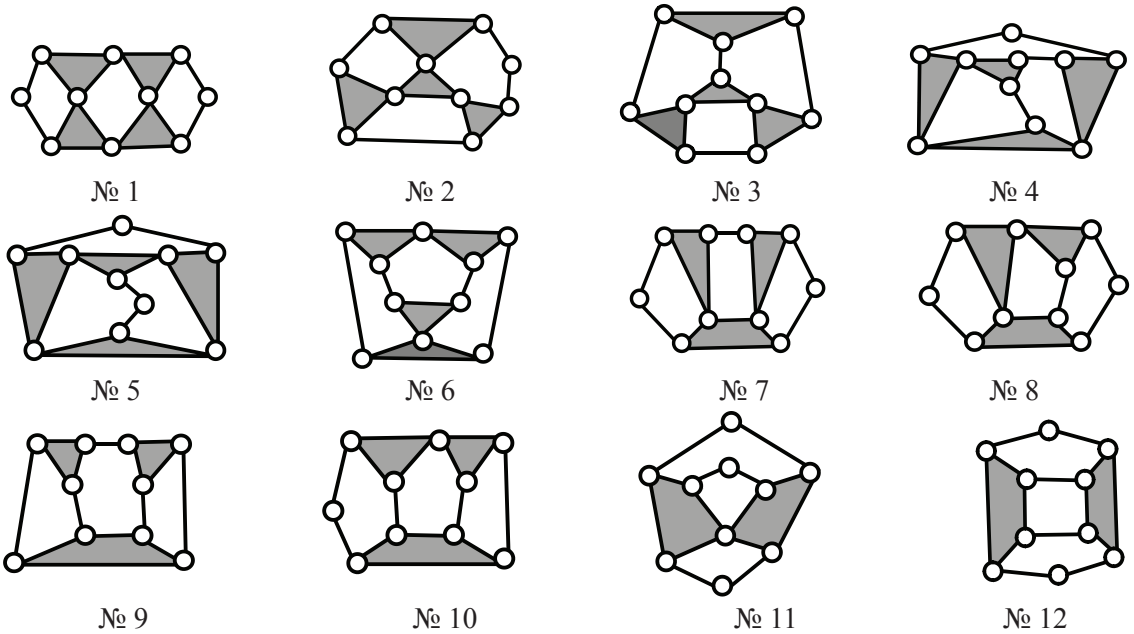


Рис. 3. Восьмизвенные замкнутые цепи, построенные Грюблером [5]

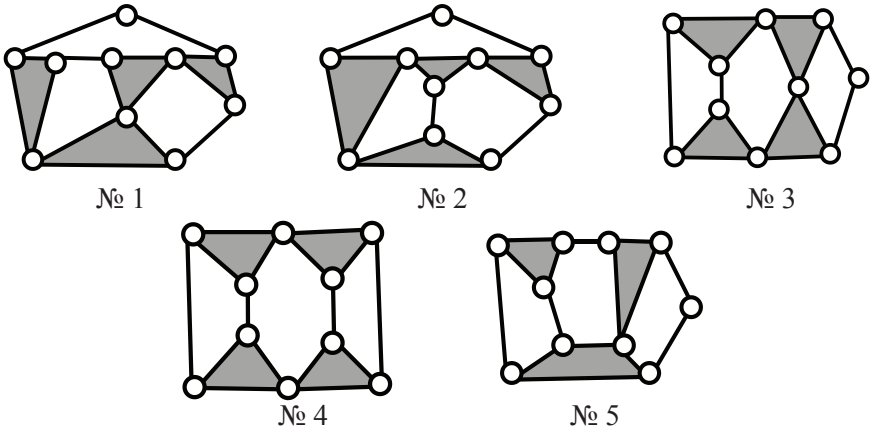


Рис. 4. Дополнительные восьмизвенные замкнутые цепи, найденные Э.Е. Пейсахом [3]

Она получена при добавлении по одному шарниру к третьему и шестому звену шестизвенной цепи (c_1). При этом звено 3 из трехшарнирного становится четырехшарнирным, а двухшарнирное звено 6 – трехшарнирным. Далее присоединением звена с шарниром к одному из добавленных и введением в цепь звена без шарнира, получаем новую восьмизвенную цепь Грюблера (рис. 5, *a*). Используя процедуру добавления двух кинематических пар, звена с парой и звена без пары ко второй шестизвенной цепи (c_2) (рис. 1), стало возможным дополнительно получить две восьмизвенные цепи, которые не были обнаружены в исследованиях [3, 5]. Первая цепь (рис. 5, *b*) образуется при добавлении двух шарниров к трехпарным звеньям 2 и 4, а вторая (рис. 5, *c*) – к трехпарному звену 2 и двухпарному звену 3. Дальнейшие процедуры,

аналогичны выше описанным. Принятый порядок образования более сложных цепей Грюблера может быть обобщен в виде алгоритма, приведенного на рис. 6, где символами гА и цГ обозначены группы Ассура и цепи Грюблера с соответствующим числом звеньев в них.

Процедура построения восьмизвенных цепей Грюблера, соответствующая первому столбцу алгоритма, предусматривает последовательное добавление к «материнской» цепи трех двухзвенных групп Ассура. По второму столбцу алгоритма, создание цепей Грюблера происходит путем присоединения к «материнской» цепи четырехзвенных групп Ассура, а по третьему столбцу непосредственно к «материнской» цепи добавляются шестизвенные. По мере увеличения числа звеньев цепи алгоритм может развиваться по числу строк и столбцов. Такой подход к построению цепей Грюблера дает возможность алгоритмично, без пропусков находить все их многообразие.

С использованием описанного алгоритма, последовательно добавляя к материнской цепи (рис. 1, *a*), по две группы нулевой подвижности (первый столбец алгоритма), получены три новые замкнутые свободные кинематические цепи (ЗСКЦ) Грюблера (рис. 5, *a*, *b, c*); присоединением к «материнской» цепи четырехзвенных групп Ассура, а их всего две, (второй столбец алгоритма), были найдены цепи, структуры которых приведены в ранее опубликованных работах [3, 5], а при добавлении к «материнской» цепи (третий столбец), шестизвенных групп нулевой подвижности (таких групп всего десять), были построены дополнительно к уже известным в [3, 5] еще две структуры цепей. Эти цепи показаны на рис. 5, под номерами 5, *d*, и 5, *e*. Покажем на рис. 7 полный состав восьмизвенных цепей Грюблера, с включением всех структур найденных ранее М. Грюблером и Э.Е. Пейсахом.

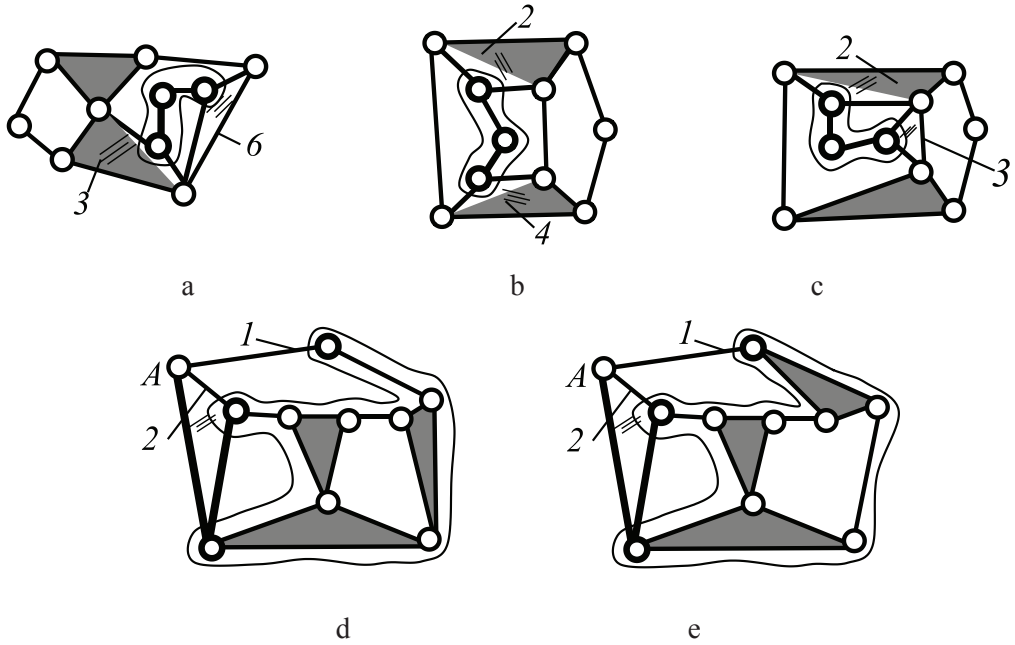


Рис. 5. Восьмизвенные цепи, полученные универсальным методом синтеза

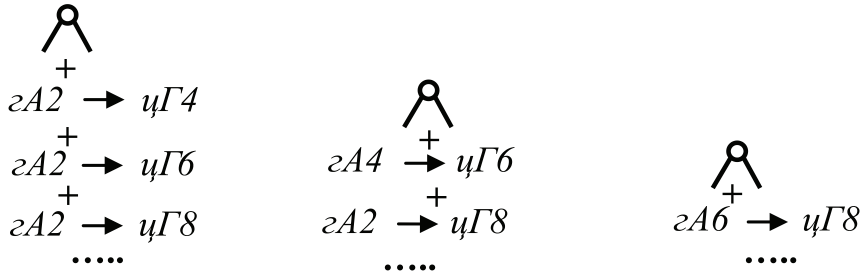


Рис. 6. Алгоритм процедур построения цепей Грюблера

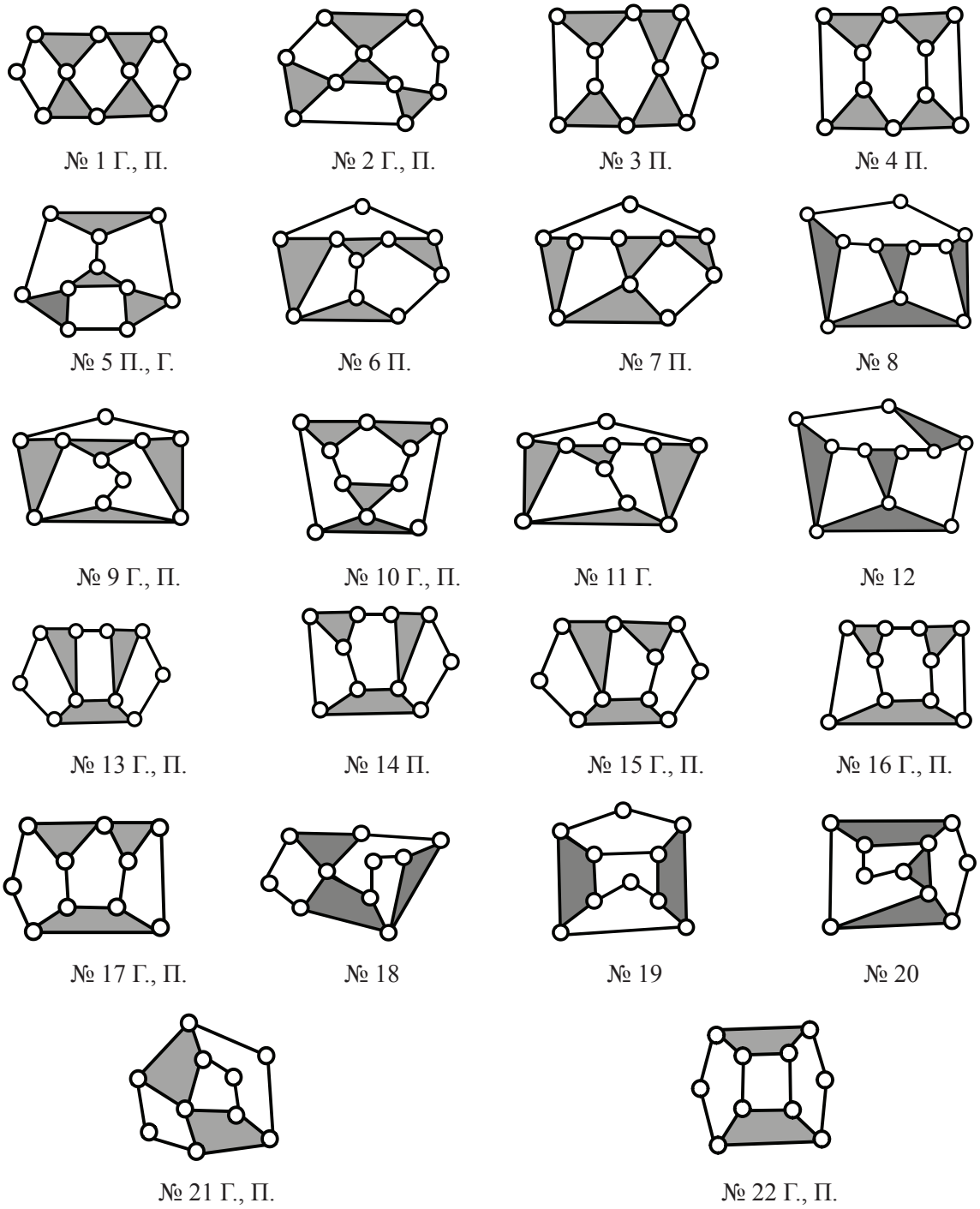


Рис. 7. Полный состав восьмизвенных цепей Грюблера

Для идентификации приведенного состава цепей (рис. 7), укажем первые буквы фамилий М. Грюблера и Э.Е. Пейсаха рядом с порядковыми номерами тех структур, которые были найдены этими учеными. Разработанный в настоящей статье метод синтеза структур ЗСКЦ Грюблера позволяет использовать его и при поиске всего многообразия более сложных – десяти-, двенадцати- и т.д. цепей с привлечением специальной поисковой компьютерной программы.

Заключение

Предложенный в настоящей статье универсальный метод поиска многообразия цепей Грюблера позволил найти дополнительно к известным семнадцати восьмизвенным цепям Грюблера пять новых структур, т.е.

обосновать полный их состав в количестве 22 структур и показать применимость метода с целью отыскания более сложных по числу звеньев цепей Грюблера.

Список литературы

1. Ассур Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. – М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1952. – 588 с.

2. Дворников Л.Т. Новые формализации в структуре механизмов // Известия вузов «Машиностроение». – 1993. – № 1. – С. 3–8.

3. Пейсах Э.Е. Структурный синтез замкнутых кинематических цепей (цепей Грюблера). // Часть 1. Теория механизмов и машин. – 2008. – № 1. – Т. 6. – С. 4–14.

4. Чебышев П.Л. О параллелограммах. Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева. Т. IV. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1948. – 254 с.

5. Grübler M. Allgemeine Eigenschaften für Zwanglaüfigen ebenen kinematischen Ketten // Civiningenieur. – 1883. – № 29. – P. 167–200.

References

1. Assur L.V. Issledovanie ploskih sterzhnevyh mehanizmov s nizshimi parami s tochki zrenija ih struktury i klassifikacii. M.: Iz-vo Akademii Nauk SSSR, 1952. 588 p.

2. Dvornikov L.T. Novye formalizacii v strukture mehanizmov. Izvestija VUZov «Mashinostroenie», № 1, 1993g, pp. 3–8.

3. Pejsah Je.E. Strukturnyj sintez zamknutyh kinematicheskih cepej (cepej Grjublera). Chast' 1. Teorija mehanizmov i mashin. 2008. № 1. Tom 6, pp. 4–14.

4. Chebyshev P.L. O parallelogrammah. Polnoe sobranie sochinenij P.L. Chebysheva. Tom IV. Teorija mehanizmov. M.-L. Izd. AN SSSR. 1948. 254 p.

5. Grübler M. Allgemeine Eigenschaften für Zwanglaüfigen ebenen kinematischen Ketten. Civiningenieur 1883. 29. pp. 167–200.

Рецензенты:

Живаго Э.Я., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теоретическая механика», ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк;

Степанов А.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры автоматизации управления Новокузнецкого института, ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 534.1

ДИНАМИКА ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА НА МНОГОКРАТНОМ КОМБИНАЦИОННОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАНСЕ

Денцов Н.Н.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: dentsovnn90@mail.ru

Приведены динамическая и математическая модели вибрационного грохота на многократном комбинационном параметрическом резонансе. Определены стационарные решения на основе метода усреднения. Построены резонансные кривые и частоты генерации для различных параметров системы. Определен коэффициент полезного действия грохота, используя энергетическое соотношение Мэнли – Роу. Рассматривается принцип действия вибрационного грохота с двумя самосинхронизирующимися параметрическими вибровозбудителями. Показывается, что с помощью легких маятников удается раскачать массивный рабочий орган грохота, значительно снизить энергопотребление и существенно повысить стабильность резонансного режима колебаний рабочего органа. При этом реализуется самоуправляемое и самоподдерживаемое собственное движение машины за счет слабых, но «умных» воздействий. Результаты данной работы могут быть использованы для создания новых высокоэффективных резонансных вибрационных машин.

Ключевые слова: динамика, вибрационный грохот, осциллятор, параметрический резонанс, самосинхронизация, однонаправленные колебания

DYNAMICS OF THE SCREEN RIDDLE ON THE MULTIPLE COMBINATIONAL PARAMETRIC RESONANCE

Dentsov N.N.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: dentsovnn90@mail.ru

Dynamic and mathematical sample pieces a screen riddle on a multiple combinational parametric resonance are reduced. Stationary decisions on the basis of an averaging method are defined. Resonance characteristics and frequencies of generation for various parametres of system are constructed. Efficiency of a screen riddle is reduced using Menli-Rowe's power ratio. Mode of functioning of a screen riddle with two self-synchronised parametric vibrators is considered. Displays that by means of easy floating levers it is possible to shake a large end-effector of a screen riddle, considerably to lower power consumption and it is essential to raise stability of a resonance condition of oscillations. Homing and self-bolstered own movement of the machine at the expense of weak, but «clever» effects is thus realised. Results of the given operation can be used for creation of new highly effective resonance vibrational machines.

Keywords: dynamics, screen riddle, oscillator, parametrical resonance, self-synchronisation, unidirectional fluctuations

В сырьевых и перерабатывающих отраслях мировой промышленности для транспортирования и переработки различных сыпучих и кусковых материалов широко применяются вибрационные транспортно-технологические машины (ВТТМ). Самой представительной группой ВТТМ являются виброгрохоты. Традиционные виброгрохоты с дебалансным, кинематическим и электромагнитным приводом имеют невысокие технические и эксплуатационные показатели. Значительная часть вибрационного оборудования, выполняющего данные технологические операции, требует больших затрат энергии. Кроме того, имеется ряд проблем с самой обработкой материалов. Например, разделение и сортировка труднопросеиваемых материалов, самоочистка сит, дезинтеграция агломератов.

Большинство вибрационных машин работают в режиме вынужденных колебаний с зарезонансной настройкой. Резонансные режимы работы машин, являющиеся энергетически наиболее эффективными, практически нереализуемы из-за их низкой стабильности при обычном резонансе вынужденных колебаний. Это объясняется крутизной амплитудно-частотной характеристики и малой величиной резонансной зоны. Поэтому даже небольшие изменения технологической нагрузки выводят машину из резонансного режима.

Положительные результаты по стабилизации резонансного режима удалось получить на основе использования комбинационного параметрического резонанса [1–4].

Целью данной работы является исследование динамики вибрационного грохота, принцип действия которой основан на самовозбуждении многократного комбинационного параметрического резонанса.

Ключевой особенностью вибрационного грохота на многократном комбинационном параметрическом резонансе является использование параметрического вибровозбудителя, предложенного В.И. Антиповым.

Он выступает в роли инновационного вибропривода для возбуждения и поддержания резонансных колебаний грохота. Основным узлом параметрического резонансного вибровозбудителя является роторно-маятниковая система, маятники которой совершают колебательное движение в поле центробежных сил инерции. Маятники этой системы образуют инерционный элемент (ИЭ) вибровозбудителя. На рис. 1 приведена динамическая модель вибрационного грохота. При рассмотрении динамики грохота вводится предположение, что отношение массы технологической нагрузки к массе рабочего органа менее значения 0,2–0,3. В этом случае влияние технологической нагрузки можно учесть путем введения так называемой присоединительной массы.

Ротор ИЭ 4 массой m_0 этой системы состоит из набора отдельных одинаковых уравновешенных дисков 7 (рис. 1, б). В каждом диске образована пара незамкнутых беговых дорожек 9 кругового профиля, которые расположены симметрично относительно двух взаимно перпендикулярных его диаметров, а их центры смещены от оси вращения ротора в диаметрально противоположных направлениях на одинаковые расстояния $AB = l$. На беговых дорожках размещены одинаковые маятники 8 массой m каждый с возможностью обкатки. Диски соединяются между собой в единую конструкцию так, что беговые дорожки одной пары повернуты вокруг оси ротора на угол $\gamma_0 = \pi/s$ относительно другой, где s – число дисков ($s = 2$). Ротор ИЭ содержит $N = 2s$ тел качения (маятников), расположенных попарно в параллельных плоскостях [2].

Вибровозбудитель 3 жестко закрепляется на корпусе грохота 1 массой M_0. Грохот связан упругими элементами 5 с основанием, которое жестко закреплено на фундаменте 6.

Два одинаковых вибровозбудителя с параллельно расположенными валами, вращающимися в противоположных направлениях с одинаковой угловой скоростью, установлены на коробе грохота так, что их суммарная вынуждающая сила проходит через центр масс грохота. Согласованная работа двух вибровозбудителей на одном рабочем органе достигается благодаря обобщенному принципу самосинхронизации [4]. Используется однонаправленная упругая система, т.е. перемещение в направлении $x \equiv 0$.

Система координат $Ax'y'z'$ с началом в центре масс ротора ИЭ движется поступательно относительно неподвижной системы $Oxyz$.

При равномерном вращении ротора ИЭ тела качения образуют в поле центробежных сил инерции подсистему N маятников с осями обкатки в центрах кривизны беговых дорожек. Положение беговых дорожек определяется углами $\psi_k = \omega t + \dfrac{2\pi k}{N}$, а положение маятников определяется углами φ_k, $k = 1, 2, \ldots, N$. Предполагается, что выполнены условия, при которых осцилляторы качения колеблются без скольжения и отрыва, полученные в [5].

Примем параметры y, φ_k, где y – перемещение рабочего органа грохота, за обобщенные координаты системы.

Будем исходить из дифференциальных уравнений движения, полученных в [2], учитывая, что $x \equiv 0$. Если ввести безразмерное время $\tau = \lambda_2 t$, безразмерную координату $\tilde{y} = \dfrac{y}{l}$ и удержать в указанных уравнениях величины до третьего порядка относительно координат и их производных, то математическую модель вибрационного грохота можно записать в следующем виде:

$$\ddot{\varphi}_k + \nu^2\tilde{\omega}^2\varphi_k = \nu^2\left[\ddot{\tilde{x}}\left(\sin\tilde{\psi}_k + \varphi_k\cos\tilde{\psi}_k - \frac{1}{2}\varphi_k^2\sin\tilde{\psi}_k\right)\right] + \beta_1\nu^2\tilde{\omega}^2\varphi_k^3 - 2\left(\tilde{n}_0 + \tilde{h}_0\varphi_k^2\right)\dot{\varphi}_k, \quad k = 1,2,\ldots,N;$$

$$\begin{aligned}\ddot{\tilde{y}} + \tilde{y} = 2\varepsilon(N\nu)^{-1}\Bigg\{\sum_{k=1}^{N}\Bigg[&\left(-\ddot{\varphi}_k + \tilde{\omega}^2\varphi_k\right)\cos\tilde{\psi}_k + 2\tilde{\omega}\dot{\varphi}_k\sin\tilde{\psi}_k - \frac{1}{2}\tilde{\omega}^2\varphi_k^2\sin\tilde{\psi}_k + \varphi_k\ddot{\varphi}_k\sin\tilde{\psi}_k + \\ &+2\tilde{\omega}\varphi_k\dot{\varphi}_k\cos\tilde{\psi}_k + \dot{\varphi}_k^2\sin\tilde{\psi}_k + \frac{1}{2}\varphi_k^2\ddot{\varphi}_k\cos\tilde{\psi}_k - \frac{1}{6}\tilde{\omega}^2\varphi_k^3\cos\tilde{\psi}_k - \tilde{\omega}\dot{\varphi}_k\varphi_k^2\sin\tilde{\psi}_k + \\ &+\varphi_k\dot{\varphi}_k^2\cos\tilde{\psi}_k\Bigg]\Bigg\} - \beta_2\tilde{y}^3 - 2\left(\tilde{n} + \tilde{h}\tilde{y}^2\right)\dot{\tilde{y}};\end{aligned} \tag{1}$$

где $\beta_1 = \dfrac{1}{6}$; $\varepsilon_0 = \dfrac{\nu^2 N m \rho_c}{2Ml}$; $\varepsilon = \sum_{i=1}^{4}\varepsilon_i = 4\varepsilon_0$; $\tilde{n}_0 = \dfrac{n_0}{\lambda_2}$; $\tilde{n} = \dfrac{n}{\lambda_2}$ – безразмерные коэффициенты линейного демпфирования; $\tilde{h}_0 = \dfrac{h_0}{\lambda_2}$; $\tilde{h} = \dfrac{h}{\lambda_2}$ – безразмерные коэффициенты нелинейного демпфирования; $\beta_2 = \gamma l^2$ – коэффициент нелинейности упругих восстанавливающих

сил; $\tilde{\omega} = \dfrac{\omega}{\lambda_2}$ – безразмерная частота параметрического возбуждения; $\nu^2 = \dfrac{m\rho_c l}{J_B}$; $\rho_c = BC_k$, $\tilde{\psi}_k = \tilde{\omega}\tau + \dfrac{2\pi k}{N}$; $\gamma = \dfrac{c_1}{c}$. Здесь $M = M_0 + m_0 + Nm$ – общая масса системы; J_B – момент инерции тела качения относительно оси обкатки; $n_0 = \dfrac{\alpha}{2J_B}$; $n = \dfrac{b}{2M}$; $h_0 = \dfrac{\alpha_1}{2J_B}$; $h = \dfrac{b_1}{2M}$. Точка обозначает дифференцирование по τ.

Исследуем комбинационный параметрический резонанс, когда колебания в системе (1) возбуждаются на частотах ω_1 и ω_2, связанных с частотой параметрического возбуждения $\tilde{\omega}$ соотношением

$$\tilde{\omega} = \omega_1 + \omega_2, \tag{2}$$

причем частоты генерации близки к собственным частотам, т.е. $\omega_1 \approx \nu\tilde{\omega}$, $\omega_2 \approx 1$, и не кратны между собой. Решение уравнений (1) будем искать в виде

$$\varphi_k = A_k \cos(\omega_1\tau + \theta_k), \quad k = 1, 2, \ldots, N,$$

$$\tilde{y} = A\sin(\omega_2\tau + \theta). \tag{3}$$

Считая амплитуды A_k, A и фазы θ_k, θ медленно меняющимися величинами и применяя метод усреднения [6], получим следующую систему уравнений первого приближения:

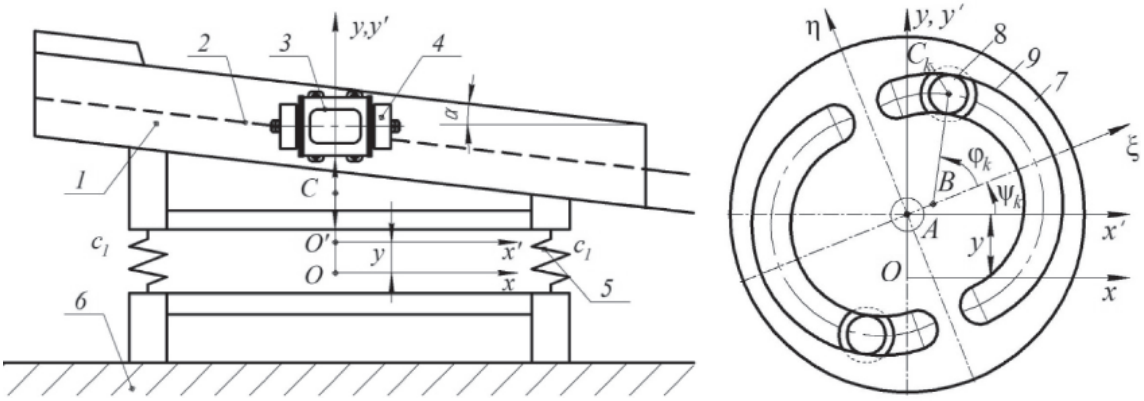
$$\dot{A}_k = \frac{1}{4}\frac{\nu^2\omega_2^2}{\omega_1}A\left(1 - \frac{1}{8}A_k^2\right)\cos\left(\frac{2\pi k}{N} - \theta_k - \theta\right) - \tilde{n}_0 u_0 A_k;$$

$$\dot{\theta}_k = -\Delta_{1\beta}^{(k)} + \frac{1}{4}\frac{\nu^2\omega_2^2}{\omega_1}\frac{A}{A_k}\left(1 - \frac{3}{8}A_k^2\right)\sin\left(\frac{2\pi k}{N} - \theta_k - \theta\right); \tag{4}$$

$$\dot{A} = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon}{N\nu}\omega_2\sum_{k=1}^{N}A_k\left(1 - \frac{1}{8}A_k^2\right)\cos\left(\frac{2\pi k}{N} - \theta_k - \theta\right) - \tilde{n}\,uA;$$

$$\dot{\theta} = -\Delta_{2\beta} + \frac{1}{2}\frac{\varepsilon}{N\nu}\omega_2\sum_{k=1}^{N}\frac{A_k}{A}\left(1 - \frac{1}{8}A_k^2\right)\sin\left(\frac{2\pi k}{N} - \theta_k - \theta\right), \quad k = 1, 2, \ldots, N,$$

где $\Delta_{1\beta}^{(k)} = \omega_1 - \nu\tilde{\omega} + \dfrac{3}{8}\beta_1\omega_1 A_k^2$; $\Delta_{2\beta} = \omega_2 - 1 - \dfrac{3}{8}\beta_2\omega_2 A^2$; $u_0 = 1 + \dfrac{1}{4}h_0^* A_0^2$; $u = 1 + \dfrac{1}{4}h^* A^2$; $h_0^* = \dfrac{\tilde{h}_0}{\tilde{n}_0}$; $h^* = \dfrac{\tilde{h}}{\tilde{n}}$. Величины $\nu\tilde{\omega} - \dfrac{3}{8}\beta_1\omega_1 A_k^2$, $1 + \dfrac{3}{8}\beta_2\omega_2 A^2$ можно рассматривать как парциальные частоты, смещенные за счет нелинейности системы.



а б

Рис. 1. Динамическая модель вибрационного грохота

Стационарный режим работы грохота находим из условия $\dot{A}_k = \dot{A} = \dot{\theta}_k = \dot{\theta} = 0$. Это приводит к системе алгебраических нелинейных уравнений относительно амплитуд A_k, A и фаз θ_k, θ. Поскольку осцилляторы качения идентичны, то $A_k = A_0$, $k = 1, 2, \ldots, N$. Исходя из симметрии роторно-маятниковой системы, указанные уравнения разрешались при выполнении условий

$$\theta_k = \frac{2\pi k}{N}, \quad k = 1, 2, \ldots, N. \tag{5}$$

В результате приходим к следующим уравнениям:

$$\frac{1}{4}\frac{\nu^2\omega_2^2}{\omega_1}\frac{A}{A_0}\left(1-\frac{1}{8}A_0^2\right)\cos\theta = \tilde{n}_0 u_0;$$

$$\frac{1}{4}\frac{\nu^2\omega_2^2}{\omega_1}\frac{A}{A_0}\left(1-\frac{3}{8}A_0^2\right)\sin\theta = -\Delta_{1\beta};$$

$$\frac{1}{2}\frac{\varepsilon\omega_2}{\nu}\frac{A_0}{A}\left(1-\frac{1}{8}A_0^2\right)\cos\theta = \tilde{n}u;$$

$$\frac{1}{2}\frac{\varepsilon\omega_2}{\nu A}\frac{A_0}{}\left(1-\frac{1}{8}A_0^2\right)\sin\theta = -\Delta_{2\beta}. \tag{6}$$

Для определения пяти неизвестных величин: двух амплитуд A_0, A, двух частот ω_1 и ω_2, фазы θ, – следует к четырем уравнениям (6) добавить равенство (2). Из первого и третьего уравнений (6) найдем отношение амплитуд

$$\frac{A^2}{A_0^2} = \frac{2\varepsilon\tilde{n}_0 u_0\omega_1}{\omega_2\tilde{n}u\nu^3}. \tag{7}$$

Из уравнений (6) можно также определить $\mathrm{tg}\theta$ и соотношение между расстройками:

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{-\Delta_{2\beta}}{\tilde{n}u} = \frac{-\Delta_{1\beta}}{\tilde{n}_0 u_0 u_1}, \tag{8}$$

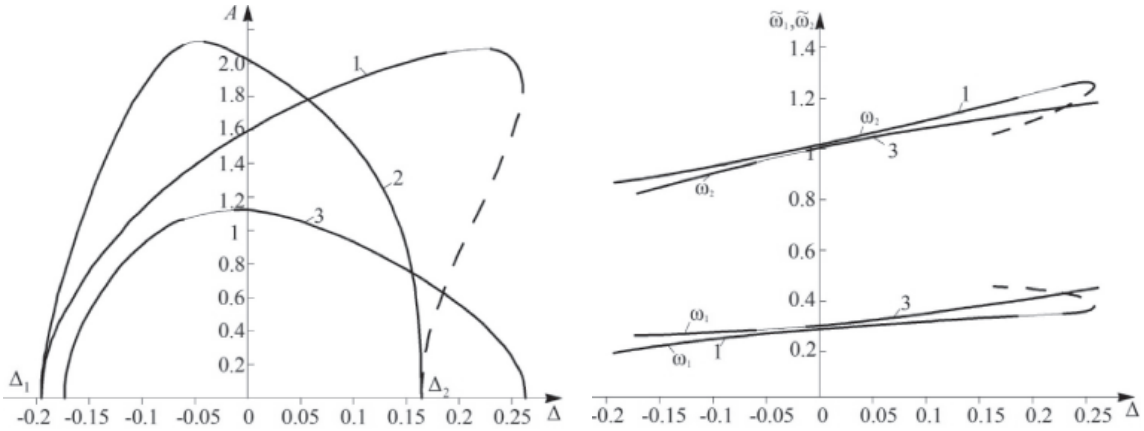
где $u_1 = \dfrac{1-\frac{3}{8}A_0^2}{1-\frac{1}{8}A_0^2}$.

Исключив из уравнений (6) фазовый угол θ и приняв в качестве расстройки величину $\Delta = \tilde{\omega} - (1+\nu\tilde{\omega})$, т.е. расстройку частоты параметрического возбуждения относительно суммы собственных частот, и используя соотношение (7), а также равенство (2), которое теперь принимает вид $\tilde{\omega} = (1+\Delta)/(1-\nu)$, после некоторых преобразований получим уравнение

$$\Delta = \frac{3(2\varepsilon\beta_2\tilde{n}_0 u_0\nu^{-1} - \nu^2\beta_1\tilde{n}u)\omega_1 A_0^2}{8\nu^2\tilde{n}u} \pm (\tilde{n}_0 u_0 u_1 + \tilde{n}u)\sqrt{\frac{\varepsilon\left(\frac{1+\Delta}{1-\nu}-\omega_1\right)^3\left(1-\frac{1}{8}A_0^2\right)^2}{8\tilde{n}_0 u_0\tilde{n}u\omega_1}-1}. \tag{9}$$

Воспользовавшись соотношениями (8), (2) и (7), приходим к уравнению

$$\omega_1 = \left(\frac{\nu(1+\Delta)}{1-\nu} + \frac{\tilde{n}_0 u_0 u_1}{\tilde{n}u}\Delta_{2\beta}\right)\Big/\left(1+\frac{3}{8}\beta_1 A_0^2\right). \tag{10}$$



а б

Рис. 2. Резонансные кривые и частоты генерации

Уравнения (9) и (10) позволяют численными методами определить зависимости $A(\Delta)$, $\omega_1(\Delta)$ и $\omega_2(\Delta)$. Так как величины u_0, u содержат A_0^2, A^2, то соотношение (7) приводит к биквадратному уравнению относительно A. Это уравнение имеет решение

$$A^2 = \frac{2}{h^*}\left(\sqrt{1+\frac{2\varepsilon h^*(1-\nu)\,\omega_1\tilde{n}_0 u_0 A_0^2}{\nu^3\left[1+\Delta-(1-\nu)\omega_1\right]}}-1\right).$$

Из (9) следует условие существования стационарных колебаний, которое с учетом соотношения

$$\Delta = \tilde{\omega}-(1+\nu\tilde{\omega})$$

принимает вид

$$\varepsilon\omega_2^3\left(1-\frac{1}{8}A_0^2\right)^2 - 8\tilde{n}_0\tilde{n}u_0 u\omega_1 \geq 0. \qquad (11)$$

Неравенство (11) удовлетворяется тогда, когда при линейном демпфировании выполняется пороговое условие $\varepsilon > 8\tilde{n}_0\tilde{n}\nu/(1-\nu)$ [3] и когда амплитуды A_0, A не превышают своих максимальных значений.

Результаты численного моделирования уравнений (9) и (10) методом итераций представлены на рис. 2, а, б в виде зависимостей амплитуды A и частот генерации ω_1, ω_2 от расстройки Δ. На рис. 2, а кривая 1 соответствует комбинационному резонансу, когда

$$\varepsilon = 0{,}02,\quad n = 0{,}25,\quad \tilde{n}_0 = 0{,}02,\quad \tilde{n} = 0{,}025,$$

$$\tilde{h}_0 = 0{,}05,\quad \tilde{h} = 0{,}075,\quad \beta_1 = \frac{1}{6},\quad \beta_2 = 0{,}15.$$

Резонансная кривая 2 соответствует случаю, когда $\beta_2 = 0$, $\tilde{h}_0 = 0{,}03$, $\tilde{h} = 0{,}05$ при неизменных значениях остальных параметров. Резонансная кривая 3 построена для величин

$$\tilde{n}_0 = 0{,}02,\quad \tilde{n} = 0{,}14,\quad \tilde{h}_0 = 0{,}02,$$

$$\tilde{h} = 0{,}046,\quad \beta_2 = 0$$

и одинаковых значений других параметров.

Отметим свойства параметрических колебаний на примере амплитудной кривой 1. Внутри интервала $\Delta_1 < \Delta < \Delta_2$, где Δ_1, Δ_2 граничные точки области неустойчивости системы (1), состояние равновесия неустойчиво [4]. Граничные точки $\Delta_1 = -0{,}192$, $\Delta_2 = 0{,}163$ определяются из уравнений (7) и (8) при $A_0 = A = 0$. Можно показать, что верхняя ветвь резонансной кривой 1, изображенной сплошной линией, является асимптотически устойчивой, а нижняя (штриховая) – неустойчивой. В точках резонансной кривой, отмеченных тонкой линией, процесс итераций расходится. Точка $\Delta = \Delta_1$ является точкой бифуркации, при переходе которой положение равновесия теряет устойчивость и возникает неравновесное состояние – периодические колебания.

Из рис. 2, а следует, что резонансные кривые не имеют характерного максимума, присущего колебательным системам при резонансе вынужденных колебаний. Обнаруживается эффект расширения резонансной зоны. Многократный комбинационный резонанс самовозбуждается в области неустойчивости положения равновесия системы при любых начальных условиях, кроме нулевых, что обеспечивает практически абсолютную устойчивость резонансного режима колебаний.

Определим КПД грохота. Для этого воспользуемся теоремой Мэнли-Роу, применимость которой была доказана в работе [1]. Мощность, рассеиваемая в колебательной системе машины:

$$P_{12} = P_1 + P_2,$$

где $P_1 = NJ_B n_0 u_0 \omega_1^2 A_0^2$ – мощность, потребляемая маятниками ИЭ (управляющей подсистемой) на частоте ω_1; $P_2 = NJ_B n_0 u_0 \omega_1 \omega_2 A_0^2$ – мощность, расходуемая на выполнение рабочего процесса (полезная мощность). Отсюда КПД машины

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1+\omega_2} = \frac{\omega_2}{\omega}. \qquad (12)$$

При настройке $\nu = 0{,}25$ и после подстановки $\omega_2 = \omega(1-\nu)$ в выражение (13) получаем $\eta = 0{,}75$. Для сравнения отметим, что максимальный КПД резонансных вибрационных машин в режиме вынужденных колебаний не превышает $\eta = 0{,}5$.

Заключение

Применение параметрических резонансных вибровозбудителей позволяет стабилизировать резонансный режим работы, значительно снизить энергопотребление, а также получать высокие качественные и количественные характеристики вибрационного грохота.

Список литературы

1. Антипов В.И., Денцов Н.Н., Кошелев А.В. Энергетические соотношения в вибрационной машине на многократном комбинационном параметрическом резонансе // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 5(1). – С. 188–194.

2. Антипов В.И., Денцов Н.Н., Кошелев А.В. Динамика параметрически возбуждаемой вибрационной машины с изотропной упругой системой // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8(5). – С. 1037–1042.

3. Антипов В.И. Динамика вибрационных машин с параметрическим возбуждением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Нижний Новгород. Изд. НГТУ, 2001. – 38 с.

4. Антипов В.И. Динамика вибрационных машин с комбинационным параметрическим возбуждением // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2001. – № 2. – С. 13–17.

5. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. – М.: Наука, 1971. – 894 с.

6. Ланда П.С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. – М., 1980. – 360 с.

References

1. Antipov V.I., Dencov N.N., Koshelev A.V. Jenergeticheskie sootnoshenija v vibracionnoj mashine na mnogokratnom kombinacionnom parametricheskom rezonanse // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2013. – no. 5(1). pp. 188–194.

2. Antipov V.I., Dencov N.N., Koshelev A.V. Dinamika parametricheski vozbuzhdaemoj vibracionnoj mashiny s izotropnoj uprugoj sistemoj // Fundamental'nye issledovanija. 2014. no. 8(5). pp. 1037–1042.

3. Antipov V.I. Dinamika vibracionnyh mashin s parametricheskim vozbuzhdeniem: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. Nizhnij Novgorod. Izd. NGTU, 2001. 38 p.

4. Antipov V.I. Dinamika vibracionnyh mashin s kombinacionnym parametricheskim vozbuzhdeniem // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin. 2001. no. 2. pp. 13–17.

5. Blehman I.I. Sinhronizacija dinamicheskih sistem. M.: Nauka, 1971. 894 p.

6. Landa P.S. Avtokolebanija v sistemah s konechnym chislom stepenej svobody. M., 1980. 360 p.

Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород;

Кретинин О.В., д.т.н., кафедра «Автоматизация машиностроения», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 620.97

ВЫБОР МОЩНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МЕГАВАТТНОГО КЛАССА

[1]Дмитриенко В.Н., [2]Лукутин Б.В.

[1]Филиал ЗАО «Сибирский ЭНТЦ» – институт «ТомскТЭП», Томск, e-mail: dmitrienko@tomsktep.tom.ru;
[2]ФГБОУ НИ ТПУ, Томск, e-mail: lukutin48@mail.ru

Рассмотрена проблема электрообеспечения децентрализованных поселков северных территорий, электроснабжение которых осуществляется от дизельных генераторов. Это негативно сказывается на величине тарифа на электроэнергию, экологии поселков и ставит население поселков в зависимость от привозного дорогостоящего дизельного топлива. Ситуация осложняется большим износом генерирующих мощностей. В работе рассмотрен альтернативный путь решения подобных проблем, строительство фотоэлектрической станции (ФЭС), работающей параллельно с дизельной электростанцией (ДЭС), на примере пос. Батагай, республика Саха (Якутия). Приведены зависимости технико-экономических показателей гибридного энергетического комплекса от величины установленной мощности ФЭС, на основе которых проведен ее выбор относительно мощности ДЭС. Приведено сравнение основных показателей при работе ФЭС как с существующей ДЭС, так и с реконструированной. Показано, что строительство ФЭС в децентрализованных районах с высокой инсоляцией актуально (особенно при реконструкции ДЭС) и позволит снизить зависимость энергоснабжения от привозного топлива.

Ключевые слова: электроснабжение, дизельная электростанция (ДЭС), фотоэлектрическая станция (ФЭС)

THE CHOICE OF CAPACITY GENERATION EQUIPMENT AUTONOMOUS SOLAR-DIESEL PLANT MEGAWATT CLASS

[1]Dmitrienko V.N., [2]Lukutin B.V.

[1]JSC «Siberian ENTC – institute TomskTEP», Tomsk, e-mail: dmitrienko@tomsktep.tom.ru;
[2]TPU, Tomsk, e-mail: lukutin48@mail.ru

Reviewed the problem of decentralized electricity supply of settlements of the Northern territories, where grid power is supplied from the diesel generators. This adversely affects the value of the tariff for the electric power, ecology settlements, and puts in the dependence of the population of the settlements from expensive imported diesel fuel. The situation is complicated by the large depreciation of generating capacities. The paper considers an alternative way of dealing with these problems, through the construction of photovoltaic plant (PV plant) operating in parallel with a diesel electric station, on the example of the village Batagay, Republic of Sakha (Yakutia). Shows the dependence of techno-economic indicators of hybrid-energy complex on the value of the installed capacity of PV plant on the basis of which held choice regarding the power of Diesel station. Shows the compare main parameters of PV plant when it works with the existing Diesel station and renovate Diesel station. Shows that the building photovoltaic plant in decentralized areas with high insolation (especially after renovate genset) relevant and will reduce dependence on imported energy fuels.

Keywords: electrical supply, diesel power station, photovoltaic power station (PV plant)

На территории Российской Федерации существует огромное количество районов, не имеющих доступа к централизованному электроснабжению. Это в основном северные территории Сибири и Дальнего Востока. Электроснабжение децентрализованных населенных пунктов, как правило, осуществляется с помощью дизельных электростанций (ДЭС). Для обеспечения постоянной и стабильной работы ДЭС необходимо обеспечение станции дизельным топливом (ДТ). Доставка топлива в удаленные районы со слабо развитой инфраструктурой ограничена сроками работы водных путей и зимних автодорог, что существенно увеличивает стоимость топливных ресурсов.

Наиболее актуальными проблемами электроснабжения удаленных населенных пунктов являются следующие:

1. Высокая стоимость привозного дизельного топлива для ДЭС и, соответственно, производимой электроэнергии.
2. Технологическая изолированность и отсутствие связи с объединенной энергосистемой.
3. Эксплуатация оборудования в сложных природно-климатических условиях, что приводит к ускоренному износу электрических сетей и электрооборудования.
4. Отсутствие автоматизированных современных маневренных мощностей, способных обеспечить эффективное регулирование мощности в условиях высокой

неравномерности годового графика потребления электроэнергии.

Актуальным решением подобных проблем в регионах, обладающих достаточным потенциалом солнечной активности, является построение солнечно-дизельных комплексов с использованием фотоэлектрических панелей (ФП) и современных автоматизированных дизельных электростанций. Построение подобных комплексов позволит решить ряд задач [4, 5]:

– экономия топлива и, как следствие, снижение зависимости энергоснабжения удаленных населенных пунктов от привозного дорогостоящего топлива;

– частичное замещение выбывающих/реконструируемых мощностей;

– в перспективе снижение тарифа на электрическую энергию;

– снижение выбросов CO_2 и других вредных веществ.

Подобные системы становятся привлекательными ввиду того, что цена на привозное ДТ постоянно растет, в то время как цена на фотоэлектрические панели снижается.

Филиал ЗАО Сибирского ЭНТЦ – институт «ТомскТЭП» с декабря 2013 года участвует в проектировании фотоэлектрической станции в пос. Батагай Верхоянского улуса Республики Саха (Якутия). Особенности децентрализованных солнечно-дизельных комплексов мегаваттного класса рассматриваются на примере расчетных данных проекта Батагайской солнечно-дизельной электростанции.

Батагай – посёлок городского типа, административный центр Верхоянского улуса, расположен в северной части республики Саха (Якутия), в пойме на правом берегу реки Яна. Географические координаты расположения объекта: широта 67°39″; долгота 134°39″; высота над уровнем моря 212 м; абсолютный минимум температуры –63 °С; среднемесячная температура самого холодного месяца (январь) –41,8 °С. Промышленные предприятия со значительным энергопотреблением на территории поселка отсутствуют. Единственным предприятием электроэнергетики пос. Батагай является Батагайская дизельная электростанция (ДЭС), находящаяся в ведении ОАО «Сахаэнерго» филиала «Верхоянские электрические сети». Энергосистема поселка изолированная. ДЭС в пос. Батагай обеспечивает электрической энергией потребителей первой, второй и третьей категорий надежности электроснабжения. Установлено 12 различных дизель-генераторов, включаемых в работу по мере необходимости. Общая установленная мощность ДЭС составляет 11 МВт.

За год ДЭС пос. Батагай на нужды электроснабжения потребляет около 6000 тонн дизельного топлива, при этом вырабатывает 23200 тыс. кВт·ч электрической энергии. Примечательно, что в наиболее солнечный летний сезон потребность в электроэнергии в три раза меньше по сравнению с зимним энергопотреблением (табл. 2). При постоянном росте цен на дизельное топливо (табл. 1) производство электрической энергии постоянно увеличивается в цене. Тариф на электроэнергию в пос. Батагай более чем на 60 % определяется топливной составляющей. Поэтому основной целью строительства фотоэлектростанции в перспективе является снижение тарифа за счет снижения топливной составляющей.

Как видно из представленной таблицы, в отчетном 2012 году потребность в мощности изменялась в широким диапазоне.

Таблица 1

Цена на ДТ

ДЭС п. Батагай	Цена топлива, руб./т без НДС						
	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
ДТЗ	24 246	30 014	30 425	33 579	38 115	41 361	49961

Таблица 2

Показатели нагрузки ДЭС Батагай в 2012 г.

Выработанная электроэнергия	кВт·ч в год	23 525 558
Минимальная зимняя нагрузка	кВт	3275
Максимальная зимняя нагрузка	кВт	5186
Минимальная летняя нагрузка	кВт	907
Максимальная летняя нагрузка	кВт	2075

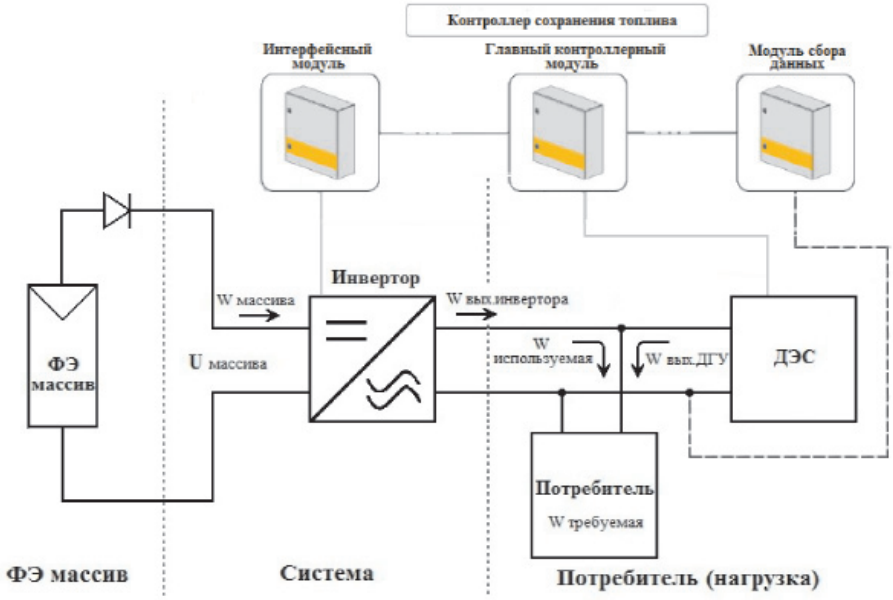


Рис. 1. Схема параллельного включения СЭС с дизельной электростанцией

Учитывая, что уровень инсоляции в этом заполярном районе в летние и зимние месяцы отличается более чем в 100 раз, при построении солнечно-дизельных комплексов мегаваттного класса целесообразно использование параллельной работы ФЭС с сетью, образованной ДЭС [2]. В этом случае исключается необходимость в накопителях электрической энергии и появляется возможность оптимизации соотношения установленных мощностей солнечной и дизельной частей энергетического комплекса. Как следствие, могут быть получены приемлемые технико-экономические характеристики проекта. Структурная схема рассматриваемой солнечно-дизельной станции приведена на рис. 1.

При падении солнечного света на фотоэлектрический массив генерируется электрическая энергия постоянного тока, которая поступает на инвертор для преобразования в энергию переменного тока. Преобразованная электроэнергия используется потребителем, наряду с дизельной генерацией. Для оптимизации выработки и потребления электроэнергии в системе фотоэлектрическая – дизельная станция устанавливается Контроллер сохранения топлива (Fuel Save Controller) [5] фирмы SMA. Данный контроллер состоит из Интерфейсного модуля, модуля сбора данных, главного модуля. Интерфейсный модуль передает информацию в реальном времени о возможном отпуске электрической энергии фотоэлектрической станцией на главный модуль. Модуль сбора данных измеряет и передает в главный модуль данные по нагрузке. Главный модуль на основе полученных данных от интерфейсного модуля и модуля сбора данных распределяет нагрузку между фотоэлектрической и дизельной станциями.

Используя программный продукт для проектирования фотоэлектрических станций PVsystV6.16 – PREMIUM – PhotovoltaicSystemsSoftware, были определены основные энергетические показатели фотоэлектрических станций различных мощностей, работающих совместно с ДЭС.

Таблица 3

Расчетные характеристики ФЭС различной мощности

	Мощность ФЭС	0 МВт	1 МВт	1,5 МВт	2 МВт	2,5 МВт
Использованное топливо, тонн	До реконструкции ДЭС	5881	5544	5432	5349	5301
	После реконструкции ДЭС	5176	4870	4754	4654	4580
Коэффициент использования ФЭС	До реконструкции ДЭС	0	0,97	0,89	0,8	0,72
	После реконструкции ДЭС	0	0,99	0,96	0,9	0,84

Важнейшие показатели: годовой расход топлива и среднегодовой коэффициент использования возможной выработки электрической энергии фотоэлектростанции в зависимости от ее установленной мощности приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

Для определения оптимальной установленной мощности ФЭС построены месячные зависимости коэффициента использования при работе с существующей ДЭС, а также с реконструируемой ДЭС (рис. 4, 5.)

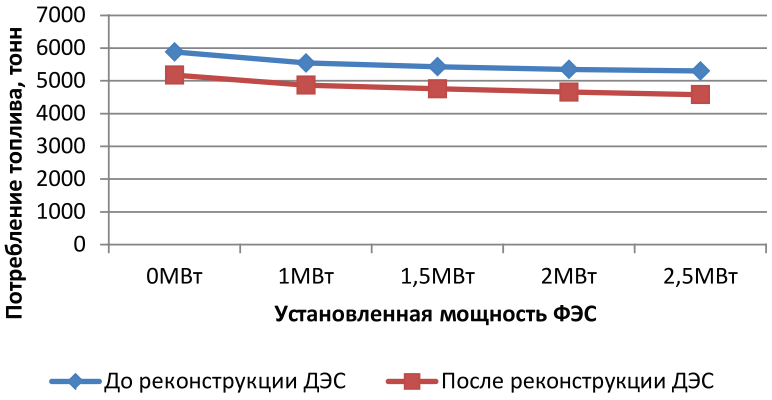


Рис. 2. График потребления ДТ в год в зависимости от установленной мощности ФЭС

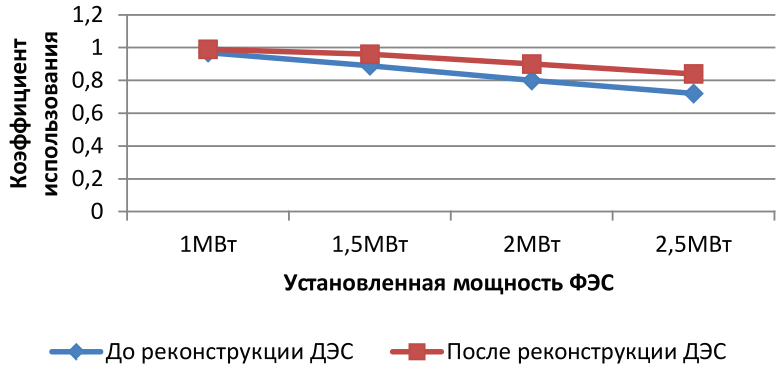


Рис. 3. Зависимость годового коэффициента использования ФЭС от ее установленной мощности

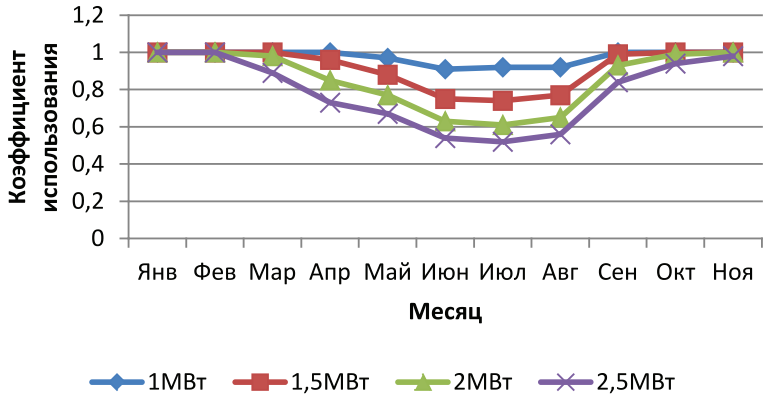


Рис. 4. Месячный коэффициент использования возможной выработки электроэнергии ФЭС при различной установленной мощности при совместной работе с существующей ДЭС

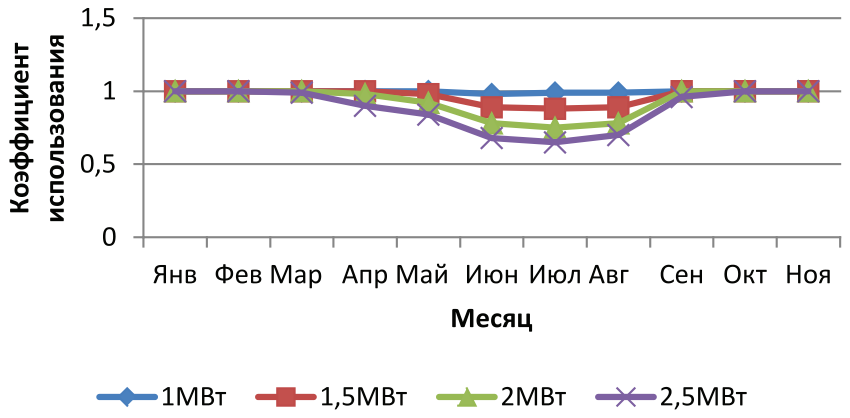


Рис. 5. Месячный коэффициент использования при работе ФЭС с реконструированной ДЭС

На основе результатов расчетов оптимальная установленная мощность ФЭС, при совместной работе с существующей ДЭС, составляет 1 МВТ. При работе с реконструированной ДЭС мощность ФЭС можно увеличить до 2 МВт, при этом станция в летние месяцы теряет не более 25 % своих возможностей. Дальнейшее увеличение установленной мощности ФЭС приводит к существенному снижению полезного использования ее энергии в летние месяцы.

Под реконструкцией ДЭС подразумевается полная замена существующего оборудования на более современные, автоматизированные дизельные агрегаты [1]: дизельные агрегаты мощностью 1000 кВт – 6 шт., дизельные агрегаты мощностью 750 кВт – 3 шт.

Общая установленная мощность ДЭС при этом составит 8250 кВт

Состав дизельной электростанции определяется исходя из выражения

$$n - 2 > N_{\text{нагр}},$$

где n – количество установленных агрегатов ДЭС (8 шт. в п. Батагай).

Т.е. при выходе из работы двух наиболее мощных генераторов (в данном случае 1000 кВт) должно обеспечиваться 100 % покрытие нагрузки п. Батагай. При «n – 2» установленная мощность ДЭС составляет 6250 кВт, что полностью отвечает указанному выше условию.

При сравнении результатов исследования наблюдается существенная экономия топлива при условии реконструкции ДЭС. Существенно увеличивается коэффициент использования фотоэлектрической части станции за счет того, что появляется больший резерв мощности, снижается нижняя граница загрузки дизельных агрегатов, увеличивается возможность регулирования нагрузки генератора (от 30 до 100 %).

Экономия топлива за счет частичного замещения генерации дизельных агрегатов, характеризуется уменьшением удельных расходов с 250 до 222 г/кВт·ч.

Выводы и рекомендации

1. Установленная мощность ФЭС гибридного энергетического комплекса электроснабжения северных поселков должна составлять от 20 до 35 % мощности ДЭС;

2. ФЭС мегаваттного класса, предполагающиеся к строительству в отдаленных северных поселках, как правило, не предусматривают использование аккумуляторных батарей, в связи с дороговизной и сопутствующими проблемами (доставка, монтаж, расходы на обслуживание).

3. Рекомендуемой схемой построения энергетического комплекса является солнечно-дизельная электростанция в которой ФЭС работает параллельно с локальной электрической сетью, образованной дизельной электростанцией.

4. Для контроля параметров распределительной сети, нагрузки и режимов работы дизель-генераторов необходимо применение интеллектуальной системы управления, например «Fuel Save Controller» [3].

Список литературы

1. ГОСТ 13822-82 Электроагрегаты и передвижные электростанции, дизельные.

2. Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В. Солнечно-дизельные системы электроснабжения северных поселков [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/117-13070.

3. Официальный сайт немецкой компании SMA. Производитель оборудования для ФЭС. URL: http://www.sma.de/en/products/sma-fuel-save-controller.html.

4. Саврасов Ф.В., Лукутин Б.В. Расчет эффективности использования автономных систем электроснабжения с фотоэлектростанциями на примере Томской области // Известия ТПУ. – 2013 – Т. 322, № 6 – С. 17–21.

5. Сурков М.А., Лукутин Б.В., Сарсикеев Е.Ж., Киушкина В.Р. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] // Науковедение. – 2012. № 4. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf.

References

1. GOST 13822-82 Jelektroagregaty i peredvizhnye jelektrostancii, dizel'nye.

2. Dmitrienko V.N., Lukutin B.V. Solnechno-dizel'nye sistemy jelektrosnabzhenija severnyh poselkov [Jelektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija – vypusk SPNiO no. 3, 2014. Reosim dostupa: http://www.science-education.ru/117-13070.

3. Oficial'nyj sajt nemeckoj kompanii SMA. Proizvoditel' oborudovanija dlja FJeS. URL: http://www.sma.de/en/products/sma-fuel-save-controller.html

4. Savrasov F.V., Lukutin B.V. Raschet jeffektivnosti ispol'zovanija avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija s fotojelektrostancijami na primere Tomskoj oblasti // Izvestija TPU. 2013. T. 322, no. 6. pp. 17–21.

5. Surkov M.A., Lukutin B.V., Sarsikeev E.Zh., Kiushkina V.R. Mirovye tendencii v oblasti postroenija avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija s ispol'zovaniem vozobnovljaemyh istochnikov jenergii [Jelektronnyj resurs] // Naukovedenie. 2012. no. 4. Reosim dostupa: http://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf.

Рецензенты:

Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭКМ, ФГБОУ НИ ТПУ, г. Томск;

Кабышев А.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭСП, ФГБОУ НИ ТПУ, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 621.396

ВЛИЯНИЕ ОТЛИЧИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ ОТ НОРМАЛЬНОГО НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В СРЕДСТВАХ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ЗАВИСИМЫМ НАБЛЮДЕНИЕМ

Евтушенко О.А.

Филиал «НИИ Аэронавигация» ФГУП ГосНИИ ГА, Москва, e-mail: zatuch@mail.ru

Рассматриваются вопросы влияния отличия распределения индустриальных и атмосферных помех от нормального на эффективность помехоустойчивого кодирования данных, передаваемых по используемым при управлении воздушным движением с автоматическим зависимым наблюдением каналам связи МВ и ДКМВ диапазонов, при корреляционной и квазиоптимальной обработке сигнала. Для систем связи, используемых при управлении воздушным движением с автоматическим зависимым наблюдением, имеются повышенные требования к достоверности передачи данных. В статье показано, что использование помехоустойчивого кодирования даёт большой выигрыш в помехоустойчивости. Приведён результат, что с расширением полосы пропускания помехоустойчивость приёма возрастает. Сравнение кривых помехоустойчивости для индустриальных и атмосферных помех показывает, что при прочих равных условиях в случае действия атмосферных помех обеспечивается меньшая вероятность ошибки на бит информации. Сделан вывод о возможности использования коротких помехоустойчивых кодов для достижения приемлемых величин вероятности ошибки на выходе декодера.

Ключевые слова: связь, индустриальная помеха, атмосферная помеха, оптимизация, помехоустойчивое кодирование, управление воздушным движением, автоматическое зависимое наблюдение

INFLUENCE OF DISTRIBUTION'S DIFFERENCE BETWEEN NORMAL ERRORS AND EXTERIOR ERRORS ON EFFECTIVENESS OF STEADY TO ERRORS CODE'S METHODS IN MEANS OF COMMUNICATION, USED BY AIRCRAFT TRAFFIC MANAGEMENT WITH AUTOMATIC DEPENDENCE SURVEILLANCE

Evtuchenko O.A.

Branch «Science Search Institute Navigation for aviation» Federal State United Undertaking State Science Search Institute Civil Aviation, Moscow, e-mail: zatuch@mail.ru

Queshions of influence of distribution's difference between industrial and atmosphere errors and normal errors on effectiveness of steady to errors code's methods data, broadcasting by used canals of communication metre and dekametre range by aircraft traffic management with automatic dependence surveillance during correlation and cvazyoptimal processing of signal are considered. For system of communication, used by aircraft traffic management with automatic dependence surveillance has increased requirements to trustworthy of data's broadcasting. In the article is showed, that using of codes, steady to errors give big gain in steady to errors. The result is reduced, that steady to errors of reception increase with expansion band of passing. Comparing of steady to error's curves for industrial and atmosphere errors shows, that for other equal conditions in case of atmosphere error's influence lesser probability of error on information's bit is provided. Conclusion about possibility of using of short codes,steady to errors, for achievement of acceptable values of error's probability on decoder's exit is drew.

Keywords: communication, industrial error, atmosphere error, optimization, steady to error code, aircraft traffic management, automatic dependence surveillance

В метровом и декаметровом диапазонах при наличии нормальных помех оптимальная обработка сигналов сводится к построению различных корреляционных приемников. Однако в этих диапазонах волн достаточно часто имеют место импульсные, а точнее квазиимпульсные помехи с доминирующим воздействием импульсной составляющей.

Достоверность навигационной информации, передаваемой с помощью авиационной системы связи, и достоверность навигационных поправок, передаваемых спутниковыми радионавигационными системами, – одно из узловых требований для успешного функционирования систем УВД при АЗН.

В этой связи возникает задача оценки эффективности методов помехоустойчивого кодирования, подверженных квазиимпульсным помехам при традиционно используемом корреляционном методе оптимального приема.

Для радиосвязных каналов, подверженных нормальным помехам, чаще всего используются два типа помехоустойчивых кодов – блочный код и сверточный код. Рассмотрим возможности применения этих кодов при наличии квазиимпульсных помех.

Как известно, при цифровой передаче данных выходное отношение сигнал/(шум + помеха), рассчитывается как

$$q^2 = \frac{2E}{N_0}, \qquad (1)$$

где E и N_0 – соответственно, энергия сигнала, передающего бит информации, и спектральная плотность помех.

Важно подчеркнуть, что в канале передачи информации соседствуют разнообразные помехи – флуктуационные, квазиимпульсные, собственные шумы приемника и некоторые другие. Это с необходимостью требует использовать коды, имеющие большие кодовые расстояния, т.е. такие, которые могут корректировать возникающие ошибки. Анализ показывает, что с такой задачей коды с большими кодовыми скоростями оказываются непригодными. В этой связи ограничивалась длина кодов, используемых для моделирования $n \leq 100$, и кодовая скорость кодов $R = 0{,}4 – 0{,}6$.

Кодирование осуществлялось по стандартной схеме на основе регистра сдвига длиной $n – k$, где $k = n\ R$ – число информационных символов кода, с обратными связями, структура которых задается порождающим многочленом

$$g(x) = g_{n-k}\, x^{n-k} + g_{n-k-1}\, x^{n-k-1} + \ldots + g_1 x + g_0, \qquad (2)$$

где g_i ($i = 0, n – k$) – коэффициенты порождающего многочлена, определяющие наличие либо отсутствие обратной связи в i-й ячейке.

Рис. 1 иллюстрирует зависимости вероятности ошибки на 1 бит информации P_e от отношения сигнал/шум при приёме сигналов ФМ-2 коррелятором (приёмником) для случаев использования различных методов блочного кодирования и декодирования при значении параметра импульсности V_d, равном значению 5 дБ, что характерно для промежуточной помехи при значении полосы приемника $B = 4{,}8$ кГц, типичном при передаче данных в метровом диапазоне со скоростью 4800 бит/с.

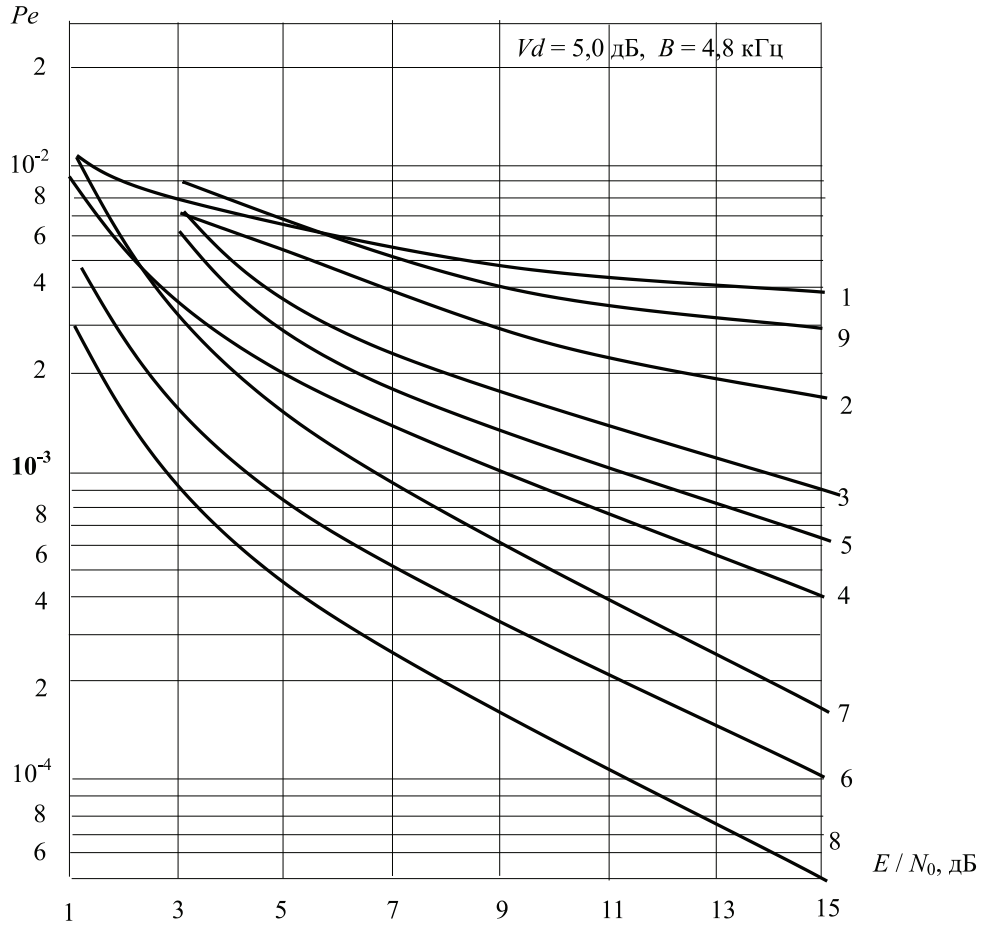


Рис. 1. Помехоустойчивость корреляционного приема ФМ сигналов с использованием блочных кодов при действии индустриальных помех:
1 – ФМ без кодирования; 2 – код (7, 4, 3); 3 – код (15, 7, 5); 4 – код (23, 12, 7);
5 – код (21, 11, 6); 6 – код (47, 24, 11); 7 – код (73, 45, 10) без перемежения;
8 – код (73, 45, 10); 9 – код (23, 12, 10) без перемежения

Как следует из рассмотрения рис. 1, влияние отношения сигнал/шум при наличии квазиимпульсных помех на помехоустойчивость проявляется слабо в ситуациях, когда прием сигнала осуществляется коррелятором. Принципиальное отличие сверточных кодов от блочных кодов заключается в том, что для них отсутствуют соответствующие алгебраические методы, позволяющие давать оценку на целесообразность их использования. При оценке эффективности использования сверточных кодов принимается скорость кодирования, равная $R = 0{,}5$.

При выборе наилучших сверточных кодов использованы рекомендации работы [5]. Как показано в [4], почти у всех этих кодов свободное расстояние достигает верхней границы, что свидетельствует об их оптимальности. На рис. 2 приведены кривые помехоустойчивости приема сигналов ФМ-2 в условиях действия индустриальных помех при использовании рекомендованных в [5] кодов, декодируемых по алгоритму Витерби.

Рис. 2 достаточно наглядно и убедительно свидетельствует, что с увеличением длины кодового ограничения имеет место существенное увеличение помехоустойчивости. При этом, как видно, целесообразнее использовать более сложный код, чем идти по пути роста энергии сигнала.

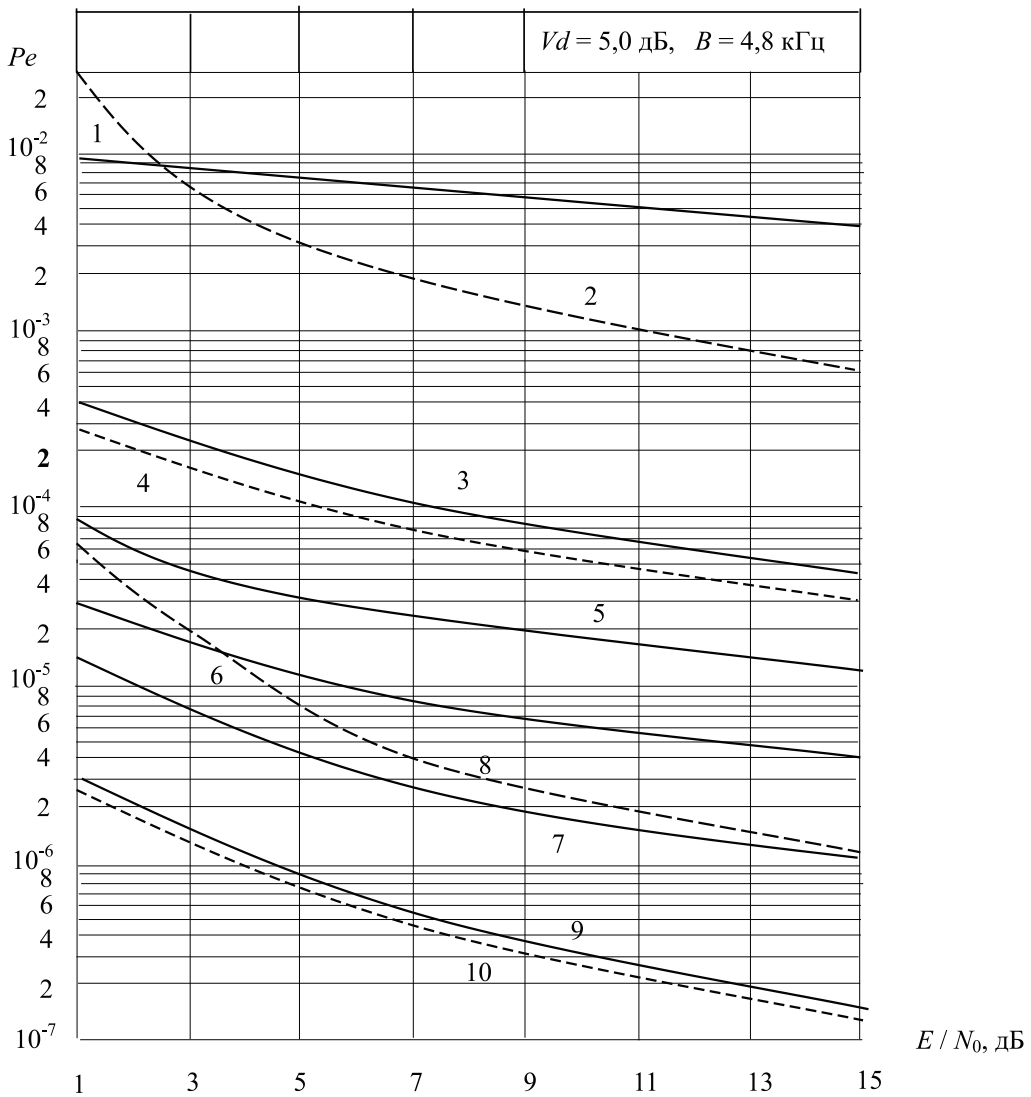


Рис. 2. Помехоустойчивость корреляционного приема ФМ сигналов с использованием сверточных кодов при действии индустриальных помех: 1 – ФМ без кодирования; 2, 3, 4 – код (7, 5); 5 – код (17, 15); 6 – код (35, 3); 7 – код (73, 61); 8, 9, 10 – код (171, 133);
-------- канал с перемежением данных;
– – – – – канал без перемежения данных;
———— канал с независимыми ошибками

При увеличении длины кода перемежение данных даёт относительно меньший эффект с точки зрения повышения помехоустойчивости.

Если проводить оценку эффективности применения блочных и сверточных кодов в канале с квазиимпульсными помехами при использовании линейного корреляционного приёма, то можно увидеть, что при применении алгоритмов, примерно равной сложности и одинаковых скоростях кодирования, близких по значению к 0,5, целесообразнее воспользоваться сверточными кодами, декодируемыми по алгоритму Витерби, поскольку он обеспечивает наилучшие характеристики энергетической эффективности.

Уровень помехоустойчивости, который можно достичь в канале передачи данных метрового диапазона радиоволн при наличии промышленных помех при использовании свёрточного кодирования и перемежения данных, дает возможность выйти на уровень вероятности ошибки порядка 10^{-7} при вероятности ошибки на выходе демодулятора, равной $4 \cdot 10^{-3}$ и идеальной фазовой синхронизациях.

Эффективность систем передачи данных по каналам связи с квазиимпульсными помехами во многом зависит от адекватности приемника типу помех. В [1, 2] показано, что асимптотически оптимальный приемник для обнаружения и оценки параметров слабого сигнала в условиях действия негауссовых помех состоит из нелинейного элемента с характеристикой, определяемой распределением помехи, и линейного приемника корреляционного типа, оптимального при гауссовой помехе.

В [6] показано, что при квазиимпульсных помехах типа индустриальных и атмосферных замена оптимального нелинейного элемента на двусторонний линейный ограничитель с фиксированным порогом на уровне среднеквадратического значения огибающей фоновой составляющей помехи не приводит к существенному проигрышу в отношении сигнал/шум. При этом даже при нулевом пороге проигрыш оказывается небольшим, снижающимся с ростом значения параметра импульсности помехи V_d и не превышает 2 дБ.

Исходя из изложенного, при анализе эффективности помехоустойчивого кодирования в цифровых каналах связи в сочетании с оптимизацией обработки сигнала в условиях действия квазиимпульсных помех моделирование целесообразно проводить применительно к приемнику, включающему в себя входной фильтр с эффективной полосой пропускания B, предельный ограничитель и линейный приемник, причем моделирование целесообразно проводить применительно к сигналу ФМ-2 как наиболее помехоустойчивому.

Известно [5], что эффективность рассматриваемого квазиоптимального приемника возрастает с ростом ширины полосы входного фильтра (ΔF) и, соответственно, с ростом числа некоррелированных отсчетов n на длительности одного такта. Тем не менее, ΔF должна быть меньше частотного интервала между рядом находящимися каналами радиосвязи. В соответствии с существующими нормами, установленными для гражданской авиации для метрового диапазона частот регламентировано $\Delta F = 25$ кГц. Такой показатель установлен для следующих значений параметров: $R = 4800$ бит/с и $V = 1000$ км/ч (путевая скорость).

Требование некоррелированности отсчетов выводит на соотношение

$$n = BT = B/B_s, \qquad (3)$$

где B_s – ширина спектра сигнала; T – длительность посылки.

Значения параметра n превосходят число 4. Однако в декаметровом диапазоне межканальный частотный разброс меньше, чем в метровом диапазоне, для этого случая принималось $n = 2$.

Рис. 3 иллюстрирует результаты моделирования канала передачи без какого-либо кодирования для двух значений полосы пропускания входного фильтра при квазиоптимальном приёме.

Как видно, помехоустойчивость жёстко следит за полосой пропускания, возрастая при её увеличении и убывая при её уменьшении. Этот эффект более заметен в случаях воздействия квазиимпульсных помех по сравнению со случаем нормальной помехи.

При увеличении параметра импульсности V_d этот эффект становится более заметным.

Из сравнения приведённых кривых, характеризующих помехоустойчивость при воздействии атмосферных и промышленных помех, вероятность ошибки (на бит информации) – P_e, возникающая при атмосферных помехах, существенно ниже.

Обратим внимание, что корреляционная обработка приводит к противоположной картине.

В общем случае проводимая в условиях воздействия квазиимпульсных помех оптимизация влечёт за собой существенное уменьшение вероятности ошибок на выходе демодулятора по сравнению с ситуацией линейной обработки.

В этой ситуации повышение помехоустойчивости приёма лежит на путях применения помехоустойчивого кодирования.

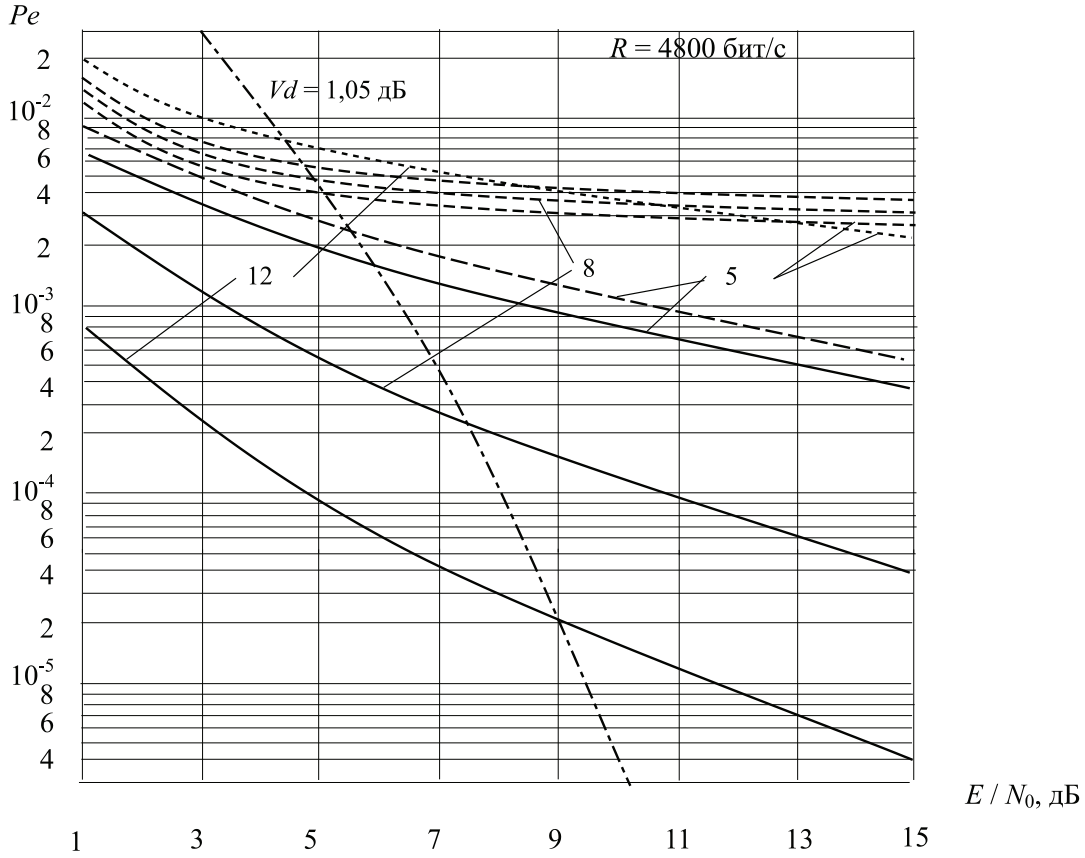


Рис. 3. Помехоустойчивость квазиоптимального приема ФМ сигналов при действии гауссовой и квазиимпульсных помех:
гауссовская помеха;
атмосферная помеха, B = 4,8 кГц;
индустриальная помеха, B = 9,6 кГц;
индустриальная помеха, B = 4,8 кГц;
атмосферная помеха, B = 9,6 кГц

Проведём оценку эффективности использования для этого блочных кодов. Из выполненного анализа вытекает, что наибольшее значение параметра импульсности помех характерно для декаметрового диапазона волн. Из этого вытекает необходимость детального анализа квазиоптимального алгоритма приёма сигнала ФМ-2 в этом диапазоне.

На рис. 4 представлены совокупности кривых, характеризующих помехоустойчивость, для случая отсутствия кодирования (кривая 1) и для случая использования блочных кодов, у которых (V_d = 8 дБ, B = 9,6 кГц, R = 4800 бит/с, n = 2) (кривая 2).

Итак, даже коротких кодов типа (15, 7, 5), (23, 12, 7), (21, 11, 6) и при параметре сигнал/шум < 15 дБ значение вероятности ошибки составляет величину $P_e = 10^{-5}$.

Ещё одно отличие, имеющее место в случае применения помехоустойчивого кодирования вместо линейного приёма, состоит в существенно меньшей эффективности перемежения для длинных кодов (кривые 7 и 8). Однако, когда применяются короткие коды, использование перемежения весьма перспективно, поскольку отказ от него приводит к тому, что граничное значение параметра сигнал/шум, обеспечивающего положительный эффект на уровне ($P_e = 10^{-5}$), вследствие использования кодирования заметно возрастает.

В качестве примера могут служить следующие числовые показатели. Использование кода (7, 4, 3) даёт возможность увеличить порог на 4,5 дБ. Таким образом, влияние на помехоустойчивость закона и глубины перемежения при использовании режима квазиоптимального приёма по сравнению с линейным приёмом существенно ниже.

Кривые, представленные на рис. 5, иллюстрируют помехоустойчивость в каналах радиосвязи, подверженных атмосферным помехам, для случая применения свёрточного кодирования.

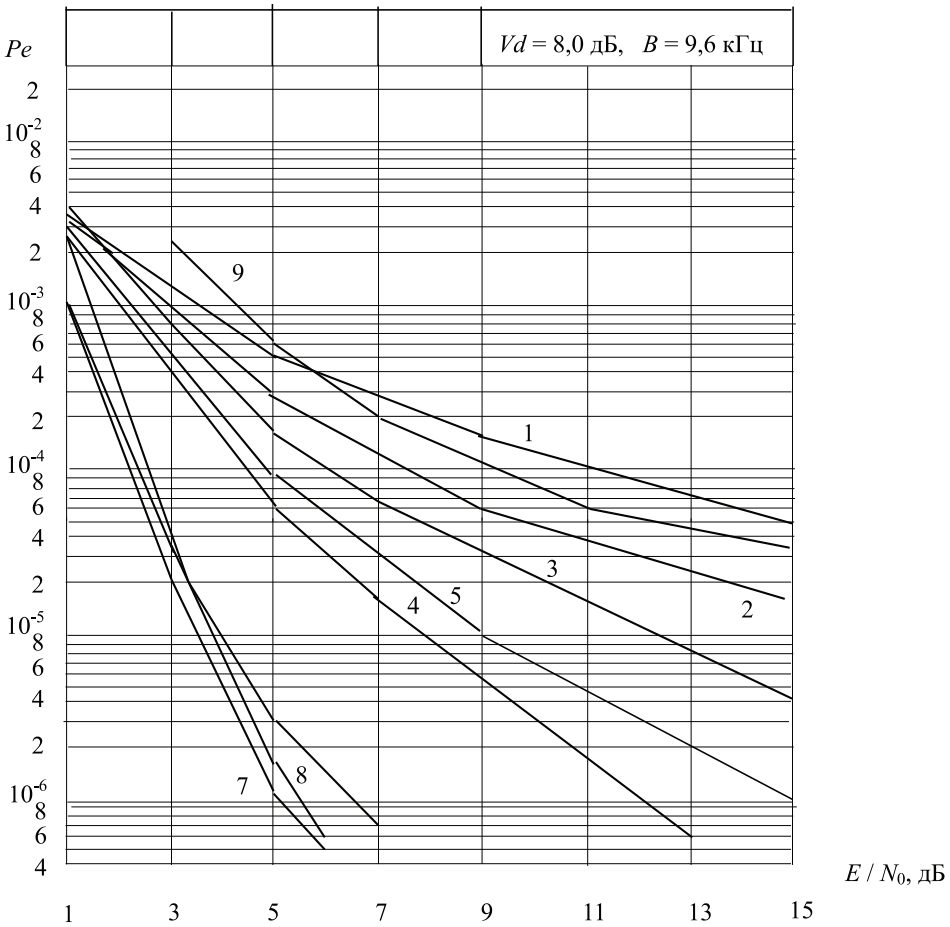


Рис. 4. Помехоустойчивость квазиоптимального приема ФМ сигналов с использованием блочных кодов при действии атмосферных помех: 1 – ФМ без кодирования; 2 – код (7, 4, 3); 3 – код (15, 7, 5); 4 – код (23, 12, 7); 5 – код (21, 11, 6); 6 – код (47, 24, 12); 7 – код (73, 45, 10); 8 – код (73, 45, 10) без перемежения; 9 – код (7, 4, 3) без перемежения

Как видно из рис. 5, использование при $V_d = 5$ дБ простейшего кода (7, 5), у которого $\nu = 2$, который при декодировании по Витерби корректирует практически все одноразовые ошибки и даёт возможность получить на выходе декодера $P_e = 10^{-5}$ при значении параметра сигнал/шум = 4,5 дБ.

Применение кодирования увеличивает значение параметра сигнал/шум на 34 дБ. Расчёты показывают, что при $V_d = 8$ дБ выигрыш оказывается ещё более заметным.

Полученные характеристики помехоустойчивости и аналогичные характеристики для режима линейного приёма показывают, что для получения допустимых значений вероятности ошибок на выходе декодера можно применять короткие помехоустойчивые коды.

При средних величинах параметра сигнал/шум на уровне от 13 до 15 дБ и применении кодов, у которых $\nu > 2$, можно добиться уровня вероятности ошибок на выходе декодера вплоть до 10^{-7} и даже ниже. Обратим внимание, что использование кода (171, 133) даёт возможность достичь такой же вероятности даже при значении параметра сигнал/шум на уровне 3 дБ.

Как видно, имеет место для свёрточного и блочного кодирований типа зависимостей помехоустойчивости цифрового демодулятора с ситуацией, когда кодирование не производится. Важно отметить, что на помехоустойчивости рост отношения сигнал/шум практически не оказывает.

Кривые рис. 3 и 4 дают возможность увидеть, что при средних величинах для параметра сигнал/шум и $V_d = 8$ дБ вполне допустимый уровень помехоустойчивости – $P_e = 10^{-5}$ в режиме квазиоптимального приёма можно реализовывать без специального помехоустойчивого кодирования, надобность в котором требуется при небольшой величине параметра V_d, относящегося к атмосферной помехе.

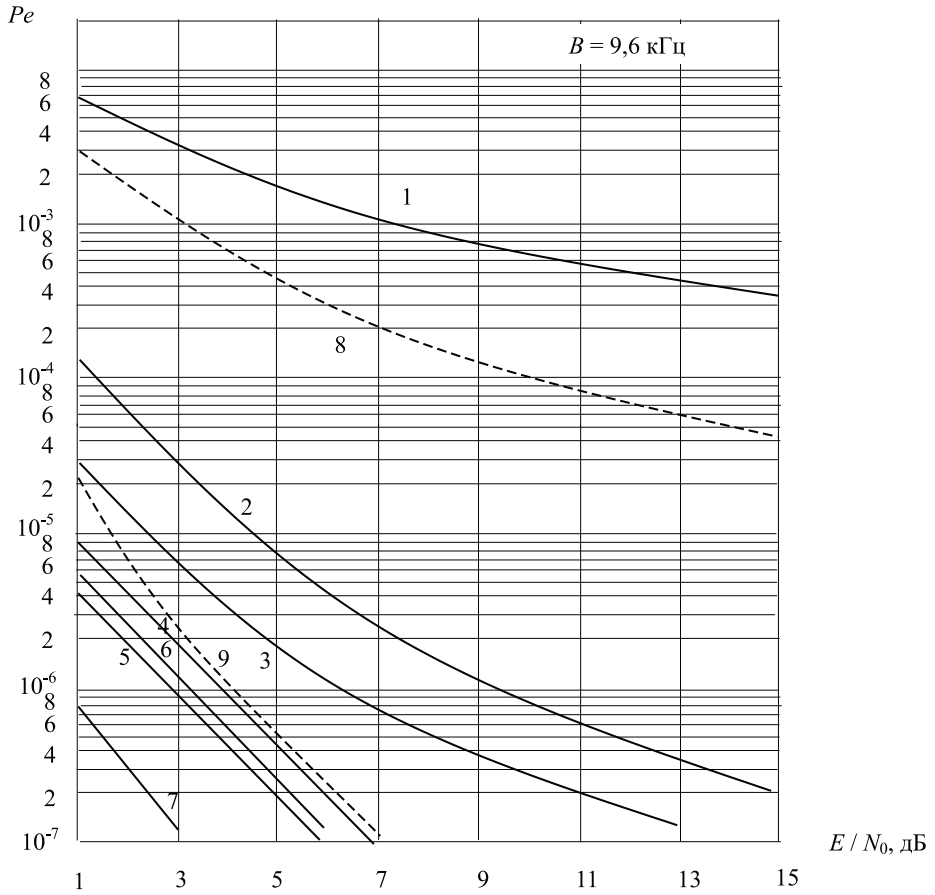


Рис. 5. Помехоустойчивость квазиоптимального приема ФМ сигналов с использованием сверточных кодов при действии индустриальных помех:
1, 8 – ФМ без кодирования; 2, 9 – код (7, 5); 3 – код (17, 15); 4 – код (35, 23); 5 – код (73, 61); 6 – код (75, 33); 7 – код (171, 133); ——— V_d = 5 дБ, - - - - V_d = 8 дБ

Таким образом, недооценка несовпадения распределения промышленных и атмосферных помех с гауссовым, особенно на этапах, когда осуществляется проектирование и непосредственно проводятся испытания радиоэлектронной аппаратуры, эксплуатируемой в метровом и декаметровом диапазонах, сказывается на заметном ухудшении качества её функционирования.

Список литературы

1. Антонов О.Е. Оптимальное обнаружение сигналов в негауссовых помехах // Радиотехника и электроника. – 1967. – т. XII, № 4, 5.

2. Валеев В.Г. Оптимальная оценка параметров сигнала при наличии негауссовых помех // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1971. – № 2.

3. Рубцов В.Д. Оптимизация приемного тракта в условиях квазиимпульсных помех // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1979. – т. XXII, № 4.

4. Clark Dj., Kein Dj. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. – М.: Радио и связь, 1987.

5. Modestino J.M. Adaptive Detection of Signals in Impulsive Noise Enviroments // IEEE Transactions on Communications. – 1977. – Vol. COM-25, № 9.

6. Rappoport S.S., Kurz L. An Optimal Nonlinear Detector for Digital Data Transmission Through Non-gausian Channels // IEEE Transaction in Communication Technology. – 1966. – Vol. COM-14, № 3.

References

1. Antonov O.E. Optimalnoe obnaruzhenie signalov v negaussovykh pomekhakh // Radiotekhnika i elektronika, t. XII, no. 4, 5, 1967.

2. Valeev V.G. Optimalnaya otsenka parametrov signala pri nalichii negaussovykh pomekh // Izvestiya AN SSSR, Texnicheskaya kibernetika, no. 2, 1971.

3. Rubtsov V.D. Optimizatsiya priemnogo trakta v usloviyakh kvaziimpulsnykh pomex // Izvestiya vuzov SSSR. Radioelektronica, 1979, t. XXII, no. 4.

4. Clark Dj., Kein Dj. Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemakh tsifrovoi svyazi. – M.: Radio I svyaz, 1987.

5. Modestino J.M. Adaptive Detection of Signals in Impulsive Noise Enviroments // IEEE Transactions on Communications, 1977, v. COM-25, no. 9.

6. Rappoport S.S., Kurz L. An Optimal Nonlinear Detector for Digital Data Transmission Through Non-gausian Channels // IEEE Transaction in Communication Technology, 1966, v. COM-14, no. 3.

Рецензенты:

Козлов А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва;

Акиншин Р.Н., д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник секции по оборонным проблемам Министерства обороны (при Президиуме Российской академии наук), г. Москва.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 631.3.072.31

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРУЖИННОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К НАВЕСНОМУ УСТРОЙСТВУ ТРАКТОРА

Зеликов В.А.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, e-mail: zelikov_1974@mail.ru

Рассматриваются основные пути повышения эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов при функционировании на лесных объектах. Приведены результаты экспериментальных исследований, разработанной конструкции энергосберегающего пружинного приспособления к навесному устройству трактора. Достоинством конструкции является способность обеспечивать раме орудия повороты в поперечно-вертикальной плоскости, относительно присоединительного треугольника навесного устройства трактора. Подвижность рамы орудия улучшает копирование рабочими органами обрабатываемой поверхности, снижаются нагрузки до безопасных значений как на само орудие, так и на приспособление и навесное устройство трактора. Приспособление является съемным, выполненным на основе стандартной автосцепки и может полноценно использоваться также на других навесных дисковых орудиях (боронах, плугах и т.п.). Использование пружинного приспособления позволяет повысить качество обработки почвы лесными дисковыми орудиями за счет повышения заглубляемости и стабильности хода рабочих органов на заданной глубине обработки, а также уменьшить расход топлива агрегатируемым трактором.

Ключевые слова: почвообрабатывающий агрегат, дисковые рабочие органы, навесное устройство, эксперимент, анализ результатов

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF ENERGY-SAVING SPRING DEVICES TO THE HITCH ATTACHMENT OF THE TRACTOR

Zelikov V.A.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, e-mail: zelikov_1974@mail.ru

The main ways to improve forest tillage machines in the operation at forest sites are considered. The results of experimental studies of developed design of energy-saving spring device of hitch attachment to the tractor are presented. The advantage of the design is the ability to provide turns of implement frame into cross-vertical plane relative to the connecting triangle of the tractor hitch. The mobility of device frame improves copying of treated surface by working bodies, loads are reduced to low values, both on the device itself and the hitch of tractor. Device is removable, made on the basis of the standard automatic coupler and can be fully used on other disk hitch implements (harrows, plows, and so on). Using spring device improves the quality of tillage by forest disc implements by increasing penetrability and stability of working bodies travel at a given depth of processing, as well as reduces fuel consumption of mounted tractor.

Keywords: tillage machines, disk working bodies, hitch, experiment, analysis of results

В лесном и сельском хозяйстве для основной и поверхностной обработки почвы традиционно широко применяются почвообрабатывающие орудия с дисковыми рабочими органами – плуги, бороны, культиваторы, покровосдиратели, лущильники и др. Такие орудия обладают повышенной проходимостью и надежностью при работе на лесных объектах, изобилующих различными препятствиями, почва которых отличается большим разнообразием по твердости и насыщенности растительными включениями. Благодаря благоприятной сферической форме и наличию пружинных амортизаторов и предохранителей дисковые рабочие органы преодолевают неперерезаемые и не смещаемые препятствия путем перекатывания последних сверху или обходом сбоку [5].

В то же время известными существенными недостатками дисковых орудий являются слабая заглубляющая способность и устойчивый ход их рабочих органов на заданной глубине обработки. Вследствие указанных причин снижается качество обработки почвы, что вынуждает механизаторов проводить повторные проходы, а это соответственно ведет к неоправданному повышению трудозатрат и перерасходу топлива агрегатируемым трактором [2, 5]. Кроме этого, нагрузки, воздействующие на конструкцию орудия при преодолении его дисками препятствий, достигают опасных значений, что в сочетании с неэффективностью установленных традиционных пружинных амортизаторов неизбежно приводит к частым поломкам и выходу таких орудий из строя.

Основными известными способами регулирования хода рабочих органов навесных почвообрабатывающих орудий на заданной глубине обработки являются: высотный, позиционный, силовой и комбинированный. Однако эти способы эффективны

в основном для массивных навесных сельскохозяйственных почвообрабатывающих орудий, работающих в значительно более благоприятных условиях и имеющих специальные конструктивные элементы в виде одного или нескольких опорных колес, лыж, подошв у рабочих органов и т.п. [8].

Более перспективным способом повышения заглубляемости дисковых рабочих органов является использование для этой цели принудительной вибрации. Результаты выполненной в ВГЛТА экспериментальной проверки на серийном лесном дисковом культиваторе КЛБ-1,7 подтвердили эффективность этого способа. Для принудительной вибрации рабочих органов были разработаны специальные конструкции гидромеханического и гидропульсаторного приводов [7]. Использование вибрации рабочих органов позволило не только повысить заглубляемость дисков, но и улучшить крошение и рыхление почвы, а также самоочищаемость рабочих органов от налипающей почвы и сорной растительности. При этом энергозатраты двигателя агрегатируемого трактора на гидропривод вибрационного механизма полностью компенсировались за счет снижения на 20–25 % рабочего сопротивления орудия. Недостатками этого способа являются усложнение и удорожание конструкции орудия, а также необходимость постоянной работы гидросистемы агрегатируемого трактора.

В настоящее время механизаторы для лучшей заглубляемости рабочих органов как лесных, так и сельскохозяйственных дисковых орудий вынуждены догружать их дополнительными грузами в виде массивных металлических деталей, бетонных блоков, бревен, ящиков с песком и т.п. Дополнительный груз устанавливают либо на общей раме орудия, либо индивидуально на каждой раме секций дисковых батарей [11].

Лесные почвообрабатывающие орудия, предназначенные для работы на вырубках, вследствие большого количества на последних крупных препятствий (пней, крупных поверхностных и полузаглубленных корней, валунов, выходов скальных пород) не имеют опорных конструктивных элементов, относительно которых осуществляется регулировка рабочих органов на заданную глубину обработки почвы. Установка на лесных орудиях таких опорных элементов неизбежно приводила бы к частым поломкам как самих элементов, так и орудий в целом. Такие лесные орудия традиционно проектируют с учетом использования дополнительных грузов, обеспечивающих регулирование глубины обработки рабочих органов. В качестве грузов используют бетонные блоки, тяжелый металлический прокат и чугунные отливки, которые закрепляют на рамах орудий с помощью шпилек или хомутов. Широко используют также доступные материалы – песок, камни и т.п., которые размещают в предусмотрительно закрепленных на рамах орудий или на дисковых батареях специальных ящиков, как например у культиватора КЛБ-1,7, плугов ПЛД-1,2 и ПРН-40Д и других. В этой связи вопросы рационального подбора массы и места размещения на дисковом орудии дополнительного груза приобретают важное значение, так как недогруз и перегруз орудия одинаково отрицательно влияют на его эффективность.

При проектировании навесных безопорных дисковых орудий разработчики часто недооценивают влияние мгновенного центра вращения (МЦВ) звеньев навесного устройства агрегатируемого трактора на заглубляемость сферических дисковых рабочих органов в почву. Основная причина этого заключается в массовом использовании на сельскохозяйственных тракторах всей линейки тягового класса (от 0,6 до 8) серийных задних навесных устройств типоразмеров НУ-2, НУ-3 и НУ-4, параметры конструкции которых регламентируются государственным стандартом (ГОСТ 10677-2001. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры). Однако этот стандарт не распространяется на навесные устройства тракторов специального назначения (п. 1 стандарта), включая лесохозяйственные [1]. Конструкции навесных устройств, выполненных с учетом требований этого стандарта, практически не позволяют изменять положение МЦВ звеньев устройства по высоте в необходимых пределах и ограничены лишь высотой от оси подвеса орудия до опорной поверхности трактора. Это не влияет на работу орудий с лемешными рабочими органами, для которых эти устройства в основном и рекомендованы стандартом. В то же время эффективность работы навесных безопорных дисковых орудий существенно зависит от способности навесного устройства устанавливать МЦВ значительно ниже опорной плоскости трактора (поверхности обрабатываемой почвы).

Цель исследования. Результаты исследования. С целью устранения отмеченных недостатков в Воронежской государственной лесотехнической академии были выполнены теоретические обоснования нескольких конструкций приспособлений к навесному устройству трактора [10]. С их помощью обеспечивается

повышение заглубляемости дисковых рабочих органов, а также существенно улучшается копирование ими обрабатываемой поверхности на лесных вырубках. Одной из перспективных является конструкция энергосберегающего навесного приспособления с четырехзвенным пружинным механизмом (далее – приспособление), которое устанавливается между навесным устройством трактора и навешиваемым дисковым орудием (рис. 1) [4].

ной плоскости на рамке 3 установлены с помощью шарниров упоры 8 с выполненными в них пазами.

Приспособление работает следующим образом. Перед началом движения агрегата, в зависимости от твердости и состояния обрабатываемой почвы, устанавливают необходимую величину усилия предварительного нагружения пружины 6 с помощью гайки 7. Затем с помощью гидрораспределителя и гидроцилиндра навесного

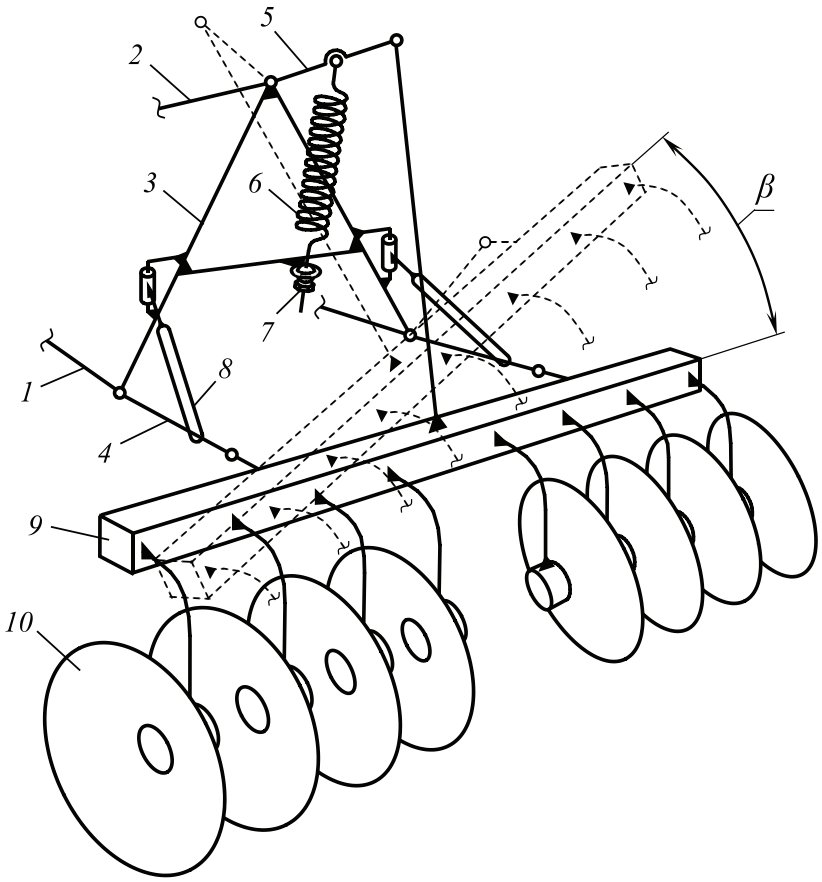


Рис. 1. Общий вид и устройство дискового культиватора с приспособлением к навесному устройству трактора: 1 и 2 – нижние и верхняя тяги; 3 – ферма автосцепки; 4 и 5 – нижние и верхний рычаги приспособления; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – шарнирные упоры с пазом; 9 – рама орудия; 10 – сферический дисковый рабочий орган

Приспособление подсоединяется к нижним 1 и верхней 2 тягам навесного устройства трактора с помощью рамки 3 автосцепки. С противоположной стороны на рамке шарнирно закреплены нижние 4 и верхний 5 рычаги. Верхний рычаг подпружинен пружиной 6, нижний конец которой закреплен шарнирно на рамке автосцепки 5, причем предварительное усилие пружины регулируется гайкой 7. Для ограничения поворотов нижних рычагов 4 в вертикаль-

устройства трактора (на рисунке не показаны) тяги навесного устройства трактора опускаются принудительно в нижнее положение на величину, обеспечивающую орудию качественную обработку почвы с учетом ее твердости и рельефа поверхности. Рабочие органы 10 орудия опускаются на почву и частично погружаются в нее под воздействием усилия гидроцилиндра навесного устройства. При этом задние концы рычагов 4 и 5 поворачиваются вверх,

вследствие чего мгновенный центр вращения (МЦВ) четырехзвенника приспособления 3, 4, 5 и 9 перемещается в продольно-вертикальной плоскости из верхнего положения в нижнее (рис. 1). В результате этого, под воздействием возросшего усилия пружины 6, создается усилие предварительного заглубления рабочих органов. Затем с помощью гидрораспределителя навесное устройство трактора фиксируется гидроцилиндром в положении «нейтральное».

При движении агрегата рабочие органы вначале окончательно заглубляются на заданную величину глубины обработки, а затем удерживаются на ней зафиксированным навесным устройством трактора и приспособлением к нему. Это обеспечивается благодаря совместному воздействию на рабочие органы усилия пружины 6 и вертикальной составляющей тягового усилия трактора P_z (рис. 2, б). Так как при движении агрегата усилие P_z будет направлено вниз, то оно совместно с усилиями масс орудия G_o и приспособления $G_п$ в состоянии полностью компенсировать выглубляющее усилие реакции почвы R'_z без использования балласта $G_б$. При этом величина образующейся вертикальной составляющей тягового усилия трактора P_z, приведенная к оси дискового рабочего органа, предусмотрительно обеспечивается таким местоположением МЦВ, которое способствует надежному заглублению и удержанию дисковых рабочих органов на заданной глубине обработки почвы.

При работе агрегата на объектах с неровным рельефом поверхности лесных вырубок неизбежно возникают совместные колебания трактора, заблокированных тяг 1, 2 и рамки 3 (рис. 2, б) навесной системы, которые передаются также рабочим органам 10 орудия. Однако благодаря работе рычагов 4, 5 и пружине 6 приспособления обеспечивается достаточно хорошее копирование поверхности и качество обрабатываемой почвы. При этом принудительное воздействие пружины на рабочие органы способствует также более надежному перерезанию растительных включений, которыми насыщены лесные почвы. На сельскохозяйственных и особенно на лесных объектах, даже на небольших участках гона, твердость почвы часто изменяется в широких пределах, что отрицательно сказывается на стабильности хода рабочих органов на заданной глубине обработки. Этот недостаток устраняется предлагаемой навесной системой следующим образом. В случае, например, превышения рабочими органами заданной величины глубины обработки из-за местного снижения твердости почвы, задние концы рычагов 4 и 5 поворачиваются вниз, а МЦВ этих рычагов соответственно перемещается вверх. Это ведет к изменению величины и направления действия вертикальной составляющей тягового усилия трактора P_z, на рабочих органах из положения вниз в положение вверх (рис. 2, а) и, следовательно, к автоматическому частичному выглублению и возвращению рабочих органов на заданную глубину обработки. Для предотвращения перезаглубления рабочих органов служат упоры 8 с пазами, с помощью которых ограничиваются повороты рычагов 4 в их крайних нижнем и верхнем положениях, как при работе, так и при транспортировании орудия.

При работе дискового орудия на вырубках, благодаря пазам и помещенным в них нижним шарнирным рычагам 4, раме орудия обеспечивается возможность отдельно или совместно, как перекосов в вертикально-поперечной плоскости на углы β (рис. 2, б), достаточные для преодоления рабочими органами высоких препятствий, так и вертикальных перемещений рамы в пределах величин, обеспечивающих гарантированный ход рабочих органов на заданной глубине обработки в условиях крайне неровной поверхности лесных объектов. К тому же при поворотах рычагов 4 относительно оси подвеса орудия пазы упоров выполняют роль ограничителей вертикальных перемещений и перекосов рамы. В крайнем нижнем положении упоры не допускают перезаглубления рабочих органов, а в верхнем – предотвращают поломки деталей орудия и навесной системы, а также опрокидывание орудия при резких поворотах агрегата на вырубках.

При транспортировании по пересеченной местности на лесных объектах массивного лесного орудия навесная система испытывает значительные динамические нагрузки. В частности, по результатам выполненных авторами методом электротензометрирования в условиях реальной эксплуатации на нераскорчеванных вырубках, при движении агрегата с орудием и приспособлением общей массой 640 кг в транспортном положении максимальное усилие в нижней тяге навесного устройства трактора составило значительную величину – 1760 кг. Для предотвращения поломок от таких нагрузок деталей навесного устройства, а также с целью обеспечения регламентированного стандартом угла съезда (транспортного просвета) орудия в его транспортном положении, упоры 8 надежно ограничивают перемещение

вниз рычагов 4 и, соответственно, орудия в целом. В противном случае, при отсутствии упоров, орудие в транспортном положении будет опущенным на недопустимую для проходимости агрегата величину, равную длине рычагов 4, которая составляет достаточно значительную величину – 300–500 мм [9]. Поэтому благодаря упорам исключаются удары рабочих органов о почву и пни в транспортном положении орудия при переездах агрегата с участка на участок.

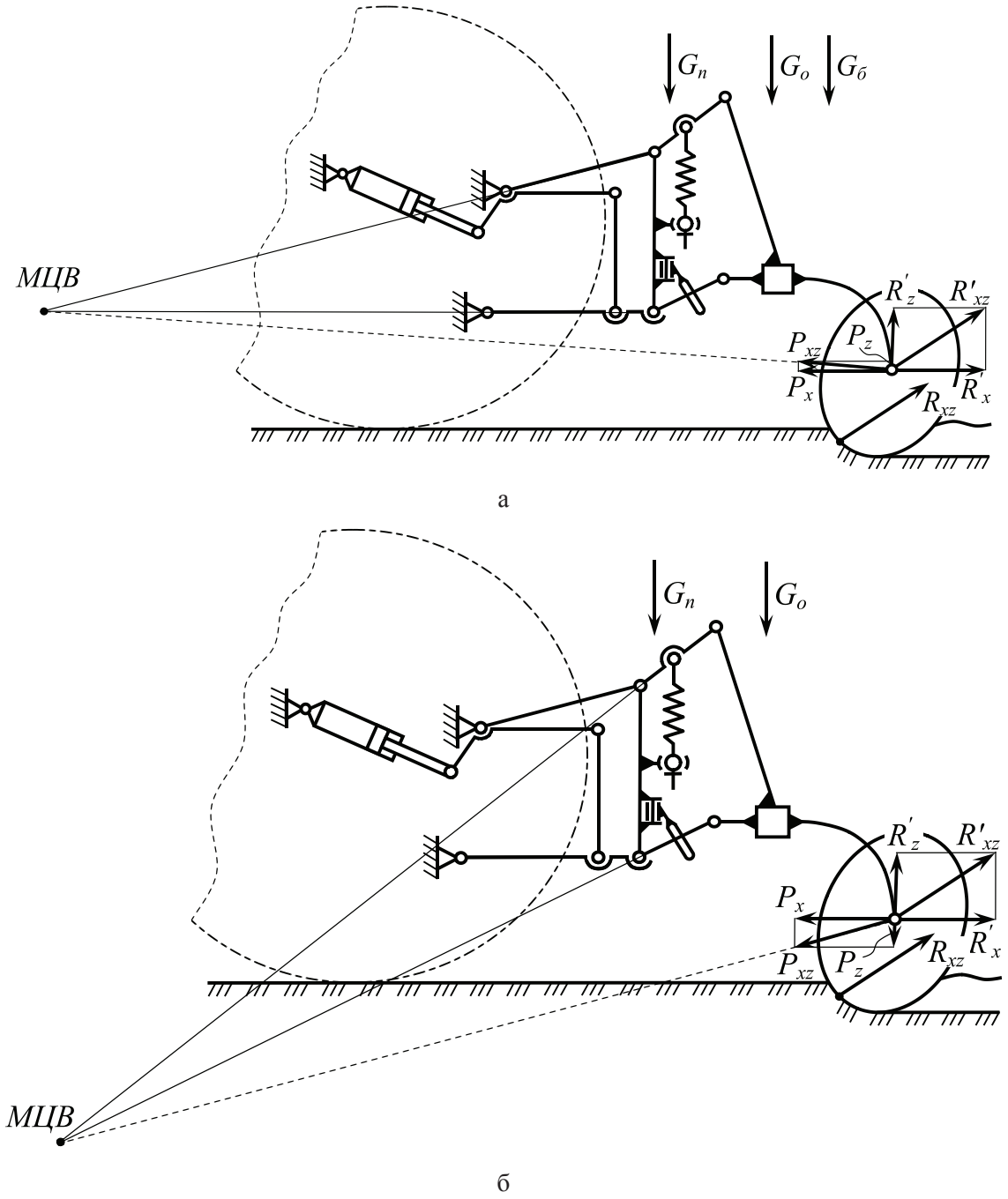


Рис. 2. К оценке влияния установочных параметров предлагаемой навесной системы почвообрабатывающего агрегата на усилие вертикальной составляющей P_z тягового сопротивления орудия с дисковыми рабочими органами при:
а – «плавающем» положении навесного устройства трактора;
б – «нейтральном» (фиксированном) положении тяг навесного устройства трактора и положении верхнего рычага устройства, устанавливающего МЦВ перед осью подвеса орудия и ниже обрабатываемой поверхности

Рис. 3. Лабораторные эксперименты с приспособлением на стенде для испытаний навесных устройств тракторов

а

б

Рис. 4. Рабочие моменты сравнительных испытаний на вырубке лесных дисковых культиваторов КЛБ-1,7 при преодолении их дисковыми батареями пней высотой 28 см от дна борозды:
а – со стандартным навесным устройством;
б – с опытным образцом приспособления к навесному устройству

На легких лесных почвах приспособление может использоваться и по традиционной схеме, то есть при «плавающем» положении гидрораспределителя гидросистемы навесного устройства трактора, но уже без балласта. В этом случае положение МЦВ приспособления, независимо от положения рычагов 4 и 5, будет определяться положением тяг 1 и 2 навесного устройства трактора и располагаться над обрабатываемой поверхностью (рис. 2, а). Суммарные значения усилий P_z и R'_z здесь в достаточной степени полноценно будут противодействовать совместному воздействию сил G_o и $G_п$, причем роль балласта выполняет масса самого приспособления, величина которого, приведенная к центру масс орудия, составляет 60 кг [6].

Перевод орудия из рабочего в транспортное положение осуществляется гидроцилиндром навесного устройства трактора. При этом тяги 1, 2 и рамка 3 поднимаются в крайнее верхнее положение, а рычаги 4, 5 и подсоединенное к ним орудие 9 под воздействием собственного веса и усилия пружины 6 занимают крайнее нижнее положение, ограниченное перемещением рычагов 4 в пазах упоров 8, шарнирно закрепленных на рамке 3.

Приспособление к навесному устройству трактора было разработано и изготовлено в Воронежской государственной лесотехнической академии. Сравнительные эксперименты и испытания приспособления проводились как в лабораторных (рис. 3), так и в полевых условиях (рис. 4) по соответствующим методикам. Эксперименты в лабораторных условиях выполнялись на специализированном стенде, обеспечивающем полноценную имитацию движения дисковой батареи культиватора КЛБ-1,7 по препятствию и в почве [3].

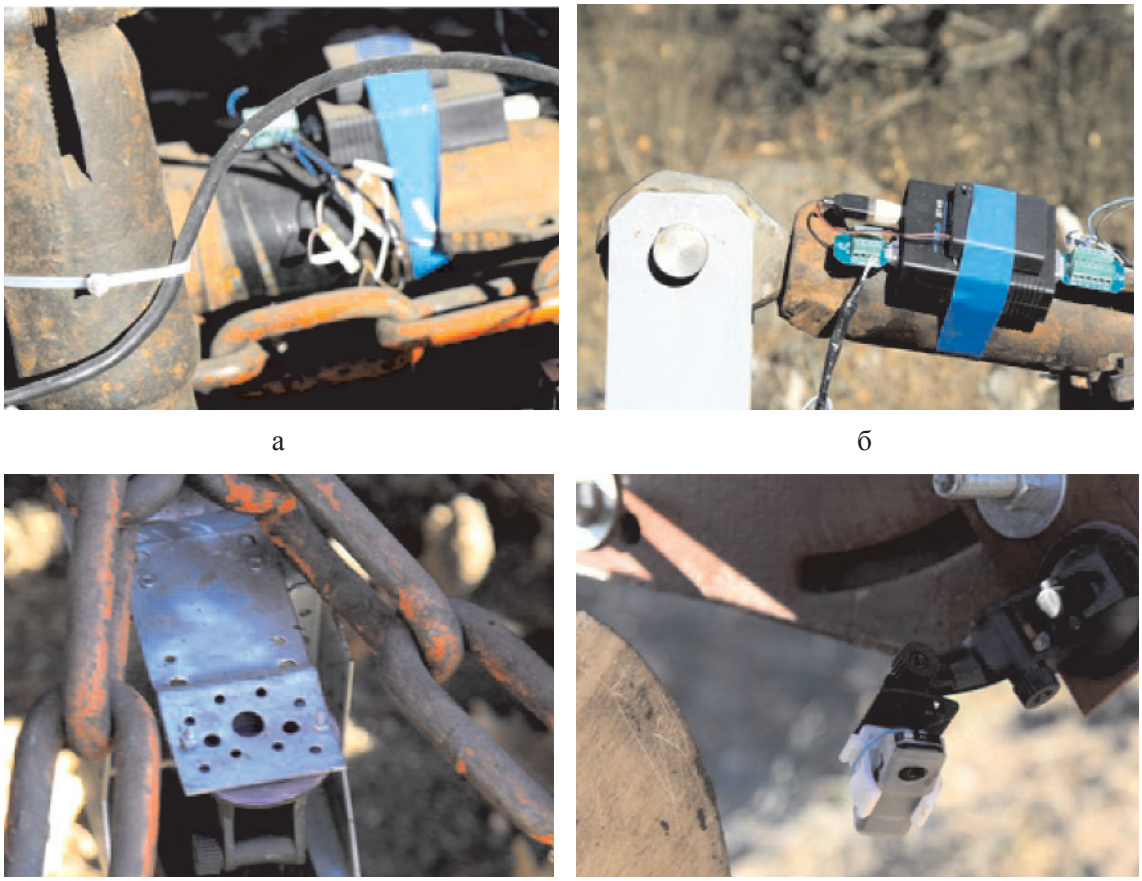


Рис. 5. Регистрирующая аппаратура при экспериментальном исследовании:
а и б – тензометрические датчики нижних и верхней тяг навесного устройства трактора соответственно;
в – видеорегистратор перемещения рамы автосцепки и рамы приспособления;
г – видеорегистратор движения левой (правой) дисковой батареи

При экспериментальном исследовании основные параметры опытного и серийного образцов регистрировались и дистанционно с помощью беспроводной цифровой сети Wi-Fi передавались на компьютер, где обрабатывались в режиме текущего времени. Для регистрации усилий в верхней и нижних тягах навесного устройства использовались тензорезисторы (рис. 5, а и б). С помощью видеорегистраторов записывались перемещения рам приспособления и культиватора (рис. 5, в), внутренних дисков дисковых батарей (рис. 5, г). Аппаратура размещалась в контейнере, закрепленном на раме культиватора, а блок питания – в контейнере, размещенном на раме трактора. Получаемые оцифрованные видеоизображения от видеорегистраторов с частотой 25 кадров в секунду обрабатывались компьютером с помощью соответствующей программы. Тензометрические датчики измерения усилий в верхней и нижних тягах навесного устройства трактора до и после проведения экспериментов прошли троекратную тарировку.

В полевых условиях эксперименты с приспособлением проводились в агрегате с лесохозяйственным трактором ЛХТ-55 и лесным дисковым культиватором КЛБ-1,7 (рис. 4). Условия проведения экспериментов соответствовали реальным условиям эксплуатации почвообрабатывающих агрегатов на нераскорчеванной вырубке с количеством пней до 600 шт./га, средней высотой пней 20 см, почвой супесчаной, местами суглинистой, с относительной влажностью в слое 0–15 см в среднем 15–18 % и твердостью 2,0–2,4 Н/мм^2. С целью сравнительной оценки эффективности приспособления опыты проводились троекратно в идентичных условиях также со стандартным навесным устройством типоразмера НУ-3 трактора ЛХТ-55 в агрегате с культиватором КЛБ-1,7 [5].

Выводы

Результаты сравнительных испытаний в целом подтвердили правильность заложенных в конструкцию новых технических решений и работоспособность приспособления в условиях нераскорчеванных вырубок. Рабочие органы культиватора с приспособлением устойчиво выдерживали необходимую среднюю глубину обработки 10–12 см без применения балласта, тогда как культиватор без приспособления выдерживал аналогичную глубину обработки только с дополнительным грузом массой 80–120 кг, в зависимости от физико-механических свойств и состояния обрабатываемой почвы. Без приспособления, со стандартным навесным устройством, рама культиватора при наезде дисковой батареи на пни оставалась параллельной обрабатываемой поверхности (рис. 4, а). В то же время при использовании приспособления рама поворачивалась на необходимый угол, обеспечивающий противоположной батарее заглубленное состояние (рис. 4, б). И если в первом случае наблюдались огрехи от выглубленной батареи, то во втором – огрехи отсутствовали. При этом за счет предусмотрительного обеспечения приспособлением перекоса рамы культиватора и сохранении таким образом заглубленного состояния батареи, противоположной выглубляемой, позволило снизить нагрузки на рабочие органы примерно на 30–50 %.

Энергосбережение почвообрабатывающего агрегата, оснащенного пружинным приспособлением к навесному устройству трактора, количественно выражается в снижении расхода топлива двигателем агрегатируемого трактора в среднем на 25–30 %. Это достигается за счет следующих основных эффектообразующих показателей, обеспечиваемых приспособлением:

– снижения тягового сопротивления дискового орудия при преодолении его рабочими органами препятствий на нераскорчеванной вырубке на 15–20 % благодаря перекосам рамы орудия и вследствие этого лучшему копированию обрабатываемой поверхности;

– повышения заглубляющей способности дисковых батарей и вследствие этого отсутствия необходимости использовать балласт массой 50–100 кг, в зависимости от физико-механических свойств почвы;

– отсутствия необходимости в повторных проходах в рядах лесных культур благодаря более высокой стабильности хода дисков на заданной глубине и более высокому качеству обработки почвы;

– снижения массы орудия на 20–25 %, вследствие уменьшения на 30–50 % нагрузок на рабочие органы и орудие в целом.

Предложенное приспособление является съемным, выполненным на основе стандартной автосцепки и может полноценно использоваться также на других навесных дисковых орудиях (боронах, плугах и т.п.). Оно отличается простотой конструкции и позволяет повысить качество обработки почвы лесохозяйственными и сельскохозяйственными дисковыми почвообрабатывающими орудиями за счет повышения заглубляющей способности и стабильности хода последних на заданной глубине обработки. Благодаря большой подвижности рамы орудия, обеспечиваемой приспособлением, существенно улучшается копирование рабочими органами обрабатываемой поверхности, снижаются нагрузки до безопасных значений, как на само орудие, так и на приспособление и навесное устройство трактора. Кроме этого, повышение заглубляющей способности дисковых рабочих органов позволяет отказаться от традиционного использования бесполезно

возимого балласта-догружателя и, соответственно, значительно уменьшить массу дисковых орудий, а также расход топлива агрегатируемым трактором.

Список литературы

1. Зеликов В.А., Посметьев В.И., Латышева М.А., Посметьев В.В. Методика моделирования механизмов навески лесных почвообрабатывающих орудий [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84 (10). – С. 337–347. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/27.pdf.

2. Основные направления повышения эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов / В.И. Посметьев, В.А. Зеликов, А.И. Третьяков, В.В. Посметьев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (36). – С. 70–79.

3. Пат. 2488087 РФ, МПК (6) G01M 17/00. Стенд для испытания предохранительных механизмов почвообрабатывающих орудий и изучения влияния ударных нагрузок на навесные механизмы тракторов / В.И. Посметьев, Е.В. Снятков, А.С. Пустовалов; заявитель и патентообладатель Воронежский лесотехнический институт. – № 2012111379/11; заявл. 23.03.2012; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20. – 4 с.: ил.

4. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Обоснование выбора схемы устройства к навесному механизму трактора при его агрегатировании с дисковыми орудиями [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 94 (10). – С. 385–394. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/49.pdf.

5. Посметьев В.И. Обоснование перспективных конструкций предохранителей для рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий: монография; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2000. – 248 с.

6. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Повышение заглубляющей способности дисковых рабочих органов лесных орудий за счет совершенствования конструкций навесного механизма агрегатируемого трактора [Электронный ресурс] // Воронежский научно-технический вестник. – 2013. – № 4 (6). – С. 84–93. – Режим доступа: http://vestnikvglta.ucoz.ru/arhiv_nomerov/4_6_2013/8.pdf.

7. Посметьев В.И., Лиференко А.В., Снятков Е.В. Повышение эксплуатационных свойств лесного дискового культиватора за счет принудительной вибрации его рабочих органов // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвузовский сборник научных трудов; ВГЛТА. – Воронеж, 2008. – Вып. 3. – С. 74–80.

8. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Состояние и пути решения проблемы заглубляемости сферических дисковых рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий [Электронный ресурс] // Воронежский научно-технический вестник. – 2013. – № 3 (5). – С. 62–66. – Режим доступа: http://vestnikvglta.ucoz.ru/arhiv_nomerov/3_5_2013/8.pdf.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610150. Программа для оптимизации механизма навески лесного почвообрабатывающего орудия / В.А. Зеликов, В.И. Посметьев, М.А. Латышева, В.В. Посметьев; правообладатель ФГБОУ ВПО ВГЛТА. – № 2011618450; заявл. 09.11.2011; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.01.2012.

10. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М., Машиностроение, 1977. – 339 с.

11. Zelikov V.A. Posmetiev V.I., Latysheva M.A. Substantiation Based on Simulation Modeling of Hitch for Tillage Tools Parameters [Электронный ресурс] // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30, № 4. – P. 486–492. – Режим доступа: http://idosi.org/wasj/wasj30%284%2914/17.pdf.

References

1. Zelikov V.A. Metodika modelirovanija mehanizmov naveski lesnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [Jelektronnyj resurs] / V.A. Zelikov, V.I. Posmet'ev, M.A. Latysheva, V.V. Posmet'ev // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. no. 84 (10). pp. 337–347. Rezhim dostupa: http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/27.pdf.

2. Osnovnye napravlenija povyshenija jeffektivnosti lesnyh pochvoobrabatyvajushhih agregatov / V.I. Posmet'ev, V.A. Zelikov, A.I. Tret'jakov, V.V. Posmet'ev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. no. 1 (36). pp. 70–79.

3. Pat. 2488087 RF, MPK (6) G01M 17/00. Stend dlja ispytanija predohranitel'nyh mehanizmov pochvoobrabatyvajushhih orudij i izuchenija vlijanija udarnyh nagruzok na naves-nye mehanizmy traktorov / V.I. Posmet'ev, E.V. Snjatkov, A.S. Pustovalov; zajavi-tel' i patentoobladatel' Voronezhskij lesotehnicheskij institut. no. 2012111379/11; za-javl. 23.03.2012; opubl. 20.07.2013, Bjul. no. 20. 4 p.: il.

4. Posmet'ev V.I. Obosnovanie vybora shemy ustrojstva k navesnomu mehanizmu traktora pri ego agregatirovanii s diskovymi orudijami [Jelektronnyj resurs] / V.I. Posmet'ev, V.A. Zelikov, M.A. Latysheva // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. no. 94 (10). pp. 385–394. Rezhim dostupa: http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/49.pdf.

5. Posmet'ev V.I. Obosnovanie perspektivnyh konstrukcij predohranitelej dlja rabochih organov lesnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij: monografija; Voronezh. gos. lesotehn. akad. Voronezh, 2000. 248 p.

6. Posmet'ev V.I. Povyshenie zaglubljajushhej sposobnosti diskovyh rabochih organov lesnyh orudij za schet sovershenstvovanija konstrukcij navesnogo mehanizma agregatiruemogo traktora [Jelektronnyj resurs] / V.I. Posmet'ev, V.A. Zelikov, M.A. Latysheva // Voronezhskij nauchno-tehnicheskij vestnik. 2013. no. 4 (6). pp. 84–93. Rezhim dostupa: http://vestnikvglta.ucoz.ru/arhiv_nomerov/4_6_2013/8.pdf.

7. Posmet'ev V.I. Povyshe¬nie jekspluatacionnyh svojstv lesnogo diskovogo kul'tivatora za schet prinuditel'noj vibracii ego rabochih organov / V.I. Posmet'ev, A.V. Liferenko, E.V. Snjatkov // Perspektivnye tehnologii, transportnye sredstva i oborudovanie pri proizvodstve, jekspluatacii, servise i remonte: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov; VGLTA. Voronezh, 2008. Vyp. 3. pp. 74–80.

8. Posmet'ev V.I. Sostojanie i puti reshenija problemy zaglubljaemosti sfericheskih diskovyh rabochih organov lesnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [Jelektronnyj resurs] / V.I. Posmet'ev, V.A. Zelikov, M.A. Latysheva // Voronezhskij nauchno-tehnicheskij vestnik. 2013. no. 3 (5). pp. 62–66. Rezhim dostupa: http://vestnikvglta.ucoz.ru/arhiv_nomerov/3_5_2013/8.pdf.

9. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2012610150. Programma dlja optimizacii mehanizma naveski lesnogo pochvoobrabatyva-jushhego orudija / V.A. Zelikov, V.I. Posmet'ev, M.A. Latysheva, V.V. Posmet'ev; pravoobladatel' FGBOU VPO VGLTA. no. 2011618450; zajavl. 09.11.2011; zaregistriro-vano v Reestre programm dlja JeVM 10.01.2012.

10. Sineokov G.N. Teorija i raschet pochvoobrabatyvajushhih mashin / Sineokov G.N., Panov I.M. M., Mashinostroenie, 1977. 339 p.

11. Zelikov V.A. Posmetiev V.I., Latysheva M.A. Substantiation Based on Simulation Modeling of Hitch for Tillage Tools Parameters [Электронный ресурс] // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 30, no. 4. pp. 486–492. Rezhim dostupa: http://idosi.org/wasj/wasj30%284%2914/17.pdf.

Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электротехника и автоматика», ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж;

Сушков С.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Промышленный транспорт, строительство и геодезия», ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 12.02.2015.

УДК 004.942

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СТРУИ РАСПЛАВА

Круглов В.Н., Папуловская Н.В., Гиззатулина А.Р.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, e-mail: v.krouglov@mail.ru

В статье описана реализация визуального моделирования движения струи расплава. Обоснована актуальность работы необходимостью отладки алгоритма оценки дебита струи, обеспечивающего постоянный контроль расхода расплава с целью мониторинга работы центрифуги и обеспечения заданных параметров минераловатного ковра. Перечисляются основные регулируемые параметры математической модели, такие как температура расплава, геометрические размеры и форма лётки, величина напора, коэффициент кинематической вязкости, плотность расплава и периодичность механических воздействий на струю расплава. Подчеркивается, что создание и визуализация математической модели позволяет гибко задавать необходимые начальные условия и тем самым провести эксперименты по отладке алгоритма без лишних производственных затрат. Кроме того, 3D модель обеспечивает наглядность эксперимента.

Ключевые слова: система технического зрения, алгоритм оценки дебита струи, струя расплава, параметры модели, производство минераловатной продукции, 3D моделирование

VISUAL MODELING MOTION MELT STREAM JET

Kruglov V.N., Papulovskaya N.V., Gizzatulina A.R.

Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: v.krouglov@mail.ru

The article describes the implementation of visual simulation of melt jet movement. The urgency of the work connected with necessity of debugging of the algorithm for melt jet flow rate estimation, which provides permanent control of the melt consumption. It allows to monitor the centrifuge and ensures specific parameters of the mineral wool carpet. Main adjustable parameters of the mathematical model, such as melt temperature, outlet size and geometry, pressure value, kinematic viscosity, melt density and frequency of the mechanical influences on the melt stream are listed. It is stressed that the development and visualization of the mathematical model allow to set the varied initial conditions that leads to decrease in the production costs for carrying out experiments and testing the algorithm. In addition, 3D model provides clarity of the experiment.

Keywords: vision system, an algorithm for estimating of the jet flow rate, melt stream, the model parameters, the production of mineral wool products, 3D modeling

Актуальной проблемой в современном производстве минераловатной продукции является учет расхода расплава. Традиционные методы измерения расхода жидкости в данной ситуации не применимы из-за агрессивности среды. Определение расхода расплава по изменению тока двигателя валков центрифуги, по количеству загруженного сырья, по весу готовой продукции являются недостаточно эффективными для предъявляемых на сегодняшний день требований к планированию производственных затрат. Между тем постоянный контроль расхода расплава с целью мониторинга работы центрифуги и обеспечения заданных параметров минераловатного ковра является одной из самых важных задач производства.

В настоящее время наиболее перспективными устройствами оценки дебита расплава считаются приборы на основе систем технического зрения [3, 5–7]. Такие приборы позволяют бесконтактным способом оценивать параметры струи (скорость истечения, диаметр), необходимые для расчета мгновенного значения ее дебита. Заметим, что в реальном производстве диаметр струи и скорость ее истечения оказываются нестабильными. Поэтому для проверки работоспособности алгоритма оценки параметров струи расплава требуется большое количество экспериментальных данных. В связи с тем, что отработать алгоритм в реальных условиях (на производстве) не представляется возможным, необходимо компьютерное моделирование процесса истечения нагретой струи в холодное пространство. Создание и визуализация математической модели позволяет гибко задавать необходимые начальные условия, изменять параметры истечения струи расплава и тем самым провести эксперименты без лишних производственных затрат. Кроме того, 3D модель обеспечивает наглядность эксперимента.

Основная часть

Теоретическое изучение процесса истечения расплава показало, что характер истечения расплава зависит от многих факторов, и является функцией $f(g, u, \rho, \sigma, \eta, H, d, h)$, где g – ускорение свободного падения, u – скорость истечения, ρ – плотность расплава, σ – поверхностное натяжение

жидкости, η – кинематический коэффициент вязкости, H – высота напора, d – диаметр стока, h – высота падения струи. Кроме этого, струя имеет температуру, отличающуюся от окружающегося воздуха. Решение задачи теплообмена между покоящимся воздухом и нагретой струей возможно лишь после того, как будут определены законы изменения температуры вдоль струи и в её поперечном сечении [7].

Для полной постановки задачи необходимо определить режимные и конструктивные характеристики конкретного производственного процесса. Расплав из плавильного агрегата попадает в прямоугольный фидер, который несет функцию гомогенизатора. Лётка имеет прямоугольную форму размером 60×100 мм. Будем считать d = 100 мм. За счёт значительного температурного перепада на выходе струи происходит образование корки, которая уменьшает площадь сечения отверстия и изменяет его до овальной формы. Величина напора H в плавильном агрегате с боковым вариантом выдачи расплава обычно мала по отношению к размерам отверстия $H \approx 25...65$ мм, следовательно, отверстие считается большим, и при расчете истечения расплава необходимо учитывать напоры, действующие по его кромкам. Толщина стенки плавильного агрегата l = 380 мм, что превышает три размера отверстия (3d), следовательно, стенка считается толстой и характер истечения аналогичен характеру истечения через насадку.

Насадками называются короткие трубки, монтируемые, как правило, с внешней стороны резервуара таким образом, чтобы внутренний канал насадки полностью соответствовал размеру отверстия в стенке. Наличие такой направляющей трубки приводит к увеличению расхода расплава при прочих равных условиях. В [1] авторы отмечают причины увеличения расхода. При отрыве струи от кромки отверстия струя попадает в канал насадки, а поскольку струя испытывает сжатие, то стенок насадки она касается на расстоянии от 1,0 до 1,5 его размера d. Воздух, который первоначально находится в передней части насадки, вследствие неполного заполнения его жидкостью постепенно выносится вместе с потоком жидкости. Таким образом, в этой области образуется «мёртвая зона», давление в которой ниже, чем давление в окружающей среде. При истечении в атмосферу в «мёртвой зоне» образуется вакуум. За счёт этих факторов увеличивается перепад давления между резервуаром и областью за внешней его стенкой и в насадке генерируется так называемый эффект «подсасывания» расплава из резервуара. Однако наличие насадка увеличивает гидравлическое сопротивление для струи жидкости, т.к. в насадке появляются потери напора по длине, но влияние подсасывающего эффекта компенсирует дополнительные потери напора по длине. На практике эти эффекты (подсасывание и дополнительные сопротивления по длине) компенсируются при соотношении: $l = 5{,}5d$. В нашем случае l = 380 мм, следовательно, $l < 5{,}5d$. Таким образом, подсасывающий эффект приводит к увеличению расхода Q.

Вся потенциальная энергия жидкости в фидере расходуется на кинетическую энергию струи, вытекающей в газообразную среду, находящуюся под атмосферным давлением. Коэффициент истечения зависит от числа Рейнольдса, которое определим по формуле

$$R_e = \frac{d\rho\sqrt{2gH}}{\eta}.$$

Подставим значения d = 60 мм, η = 20–45 пз, ρ = 2500 кг/м^3, g = 9,81 м/с H = 50 мм получим R_e = 3–7. Малое значение числа Рейнольдса указывает на ламинарный характер истечения жидкости [2]. Однако при моделировании процесса было установлено, что после истечения из отверстия (стока) расплав движется струйно, затем в зависимости от неоднородности вещества расплава и температурных изменений происходит деформация струи (рис. 1, а). Во многих случаях струя начинает изгибаться, образовывать складки или принимать скрученную форму (рис. 1, б).

а б

Рис. 1. Формы деформации струи расплава: а – неоднородность; б – скручивание

Струю расплава можно разделить на три участка: начальный, переходный и основной [1]. В начальном участке изменения температур, плотностей, массы происходят в пограничном слое струи. Он заканчивается, когда пограничный слой распространяется по поперечному сечению струи. Движение жидкости в начальном и переходном участках осуществляется под действием положительного градиента давления, поэтому эти два участка можно рассматривать как единый участок. Кроме того, переходный участок имеет незначительную протяжённость, по сравнению с основным участком. Для рассматриваемого алгоритма оценки параметров струи представляет интерес основной участок или участок свободного падения.

Визуализация движения струи расплава является задачей трёхмерного моделирования. При реализации модели необходимо учесть следующие особенности, характеризующие производство минераловатного ковра:

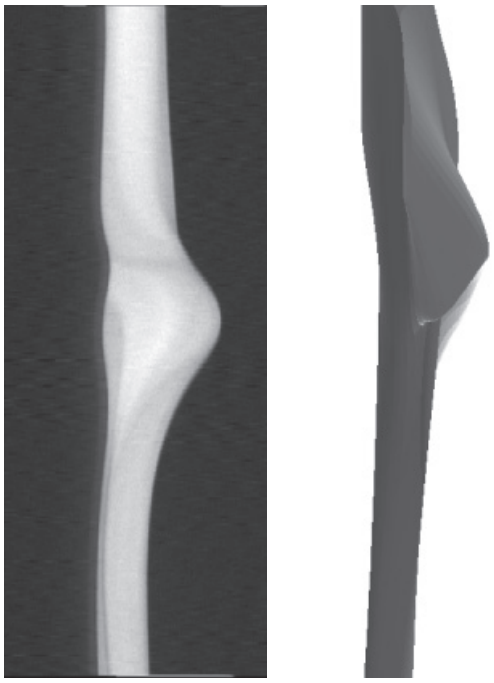
■ на изображении струи расплава должны появляться пятна, соответствующие температурным изменениям расплава и различной вязкости вещества;

■ механические воздействия определяют отклонение свободного падения струи и изменение её формы;

■ появление сгустков в струе вызывает изменение геометрии струи.

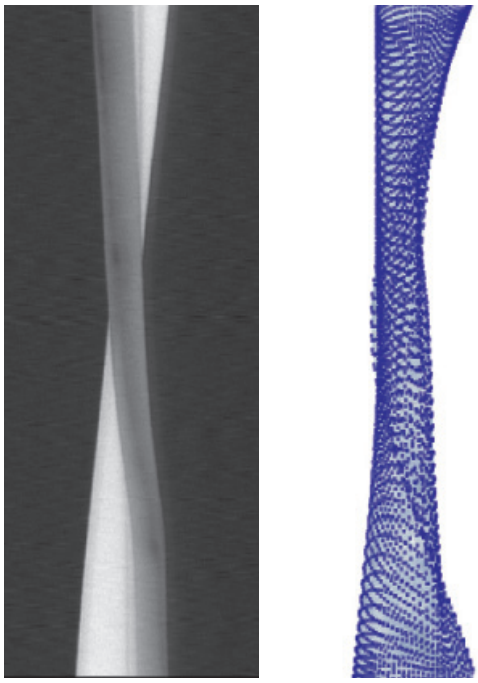
Для реализации модели необходимо выполнить следующие подзадачи: визуализация вязкой жидкости, моделирование движения жидкости, моделирование изгибов и скрутки струи.

Моделирование жидкости связано с решением нелинейных дифференциальных уравнений, которые в общем случае не имеют аналитического решения. Для того чтобы найти решение, обычно, используются численные методы. Представляет интерес метод моделирования вязкой жидкости, называемый SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) – гидродинамика сглаженных частиц [4]. В отличие от основанных на сетке методик, которые прослеживают границы жидкости, метод SPH создаёт свободную поверхность для непосредственно взаимодействующих жидкостей или газов. SPH представляет собой численный метод, который позволяет проводить расчеты течений с сильными деформациями границ расчетной области, которые допускают изменение связности области расчета. Согласно методу SPH для каждой частицы жидкости вычисляется пространственный хэш (индекс), далее все хэши собираются в таблицу и сортируются так, чтобы частицы с одинаковыми хэшами были рядом. Параллельно создается специальная таблица, которая позволяет быстро найти всех соседей конкретной частицы, то есть по значению хэша получить все остальные частицы с таким же хэшем.



а б

Рис. 2. Визуализация жидкости: а – снимок; б – модель



а б

Рис. 3. Скручивание жидкости: а – снимок; б – каркас модели

В связи с тем, что частицы рассчитываются и визуализируются отдельно друг от друга, жидкость не выглядит однородной, она как бы состоит из отдельных элементов (частиц). Так как для визуализации рассматриваемой модели более важным является внешняя форма анализируемого объекта, чем внутренняя, то и задачу визуализации можно упростить, моделируя только внешние стенки жидкости. При этом формы изгибов и скручивание струи реализуются с помощью сплайнов, создавая каркас модели (рис. 2 и 3), а сама жидкость с помощью метода SPH. Моделируемая жидкость «течет» по рассчитанному каркасу.

Все вычисления визуализации струи можно представить в виде конвейерной архитектуры (рис. 4) [4].

В блоке *«Массив частиц»* выполняется заполнение массива частиц по поперечному сечению решетки с расстояниями между частицами $3r$, где r – радиус частицы.

В блоке *«Расчет сил»* вычисляются силы, возникающие вследствие взаимодействия частиц друг с другом, с учетом силы притяжения к каркасу струи.

В блоке «*Расчет диффузии*» значения яркости температуры от частицы передается ее соседям в соответствии с законом диффузии.

Блок *«Рендеринг»* необходим для визуализации нескольких тысяч одинаковых частиц. Частицы рисуются в два специальных буфера: буфер цвета и буфер высот. Первый используется для придания жидкости необходимого цвета, а второй – для вычисления скоростей и нормалей, необходимых для бликов и преломлений.

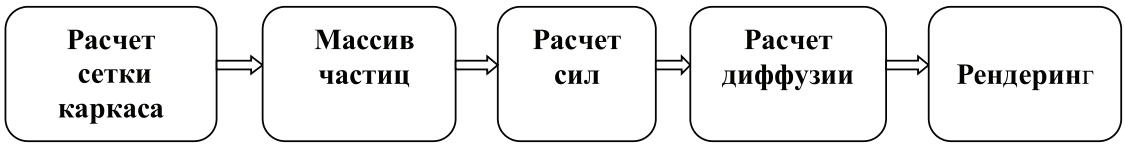


Рис. 4. Алгоритм моделирования вязкой жидкости

В блоке «*Расчет сетки каркаса*» вычисляются внешние стенки струи, операции вращения и сдвига выполняются умножением на соответствующие матрицы аффинных преобразований, волны моделируются с помощью кривых Безье.

Рис. 5. Моделирование сложной формы струи

Задача визуального моделирования движения жидкости выполнена с помощью графического стандарта OpenGL. Графическая библиотека позволяет создавать сложные трёхмерные сцены из простых примитивов (рис. 5).

Она используется при создании компьютерных игр, виртуальной реальности, визуализации в научных исследованиях.

Заключение

Входными данными для математической модели являются: температура расплава, геометрические размеры лётки, величина напора, коэффициент кинематической вязкости, плотность расплава и периодичность механических воздействий на струю расплава. Выходными – скорость движения струи, площадь поперечного сечения струи и рассчитанный дебит расплава.

В компьютерной модели форму струи жидкости определяет форма летки. Изначально форма отверстия считается овальной, поэтому струя имеет в сечении форму круга. Затем при нарастании корки отверстие приобретает форму треугольника, при этом струя изменяет форму. Изменять величину напора можно с помощью параметра H. При этом изменяется скорость движения частиц в струе и происходит отклонение струи по горизонтали.

Программа моделирования струи позволяет просматривать процесс истечения из любой точки пространства.

Список литературы

1. Авдюнин Е.Г., Магницкий В.А. Моделирование неизотермических свободных струй с твердыми включениями // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 4. – С. 1–5.

2. Жуков Н.П. Гидрогазодинамика. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – С. 92.

3. Круглов В.Н. Способ определения производительности плавильного агрегата. Патент RU № 2469962 от 20.12.2012.

4. Моделирование жидкости с использованием GPU. URL: http://www.uraldev.ru/articles/id/29 (дата обращения: 08.12.2014).

5. Gamma Meccanica SpA, разработчик оборудования по производству стекловаты и каменной ваты. [Электронный ресурс]. URL: http://www.gamma-meccanica.it/ (дата обращения 12.01.2015).

6. Kruglov V., Kruglov A. Way to Estimate the Discharge of the Melt Jet Flowing out of a Melting Furnace // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2013. – Vol. 23. – № 4. – P. 498–501.

7. Sirok B., Blagojevich B. Mineral wool. – WOODHEAD Publishing limited, Cambridge, England. 2008. – 184.

References

1. Avdjunin E.G., Magnickij V.A. Modelirovanie neizotermicheskih svobodnyh struj s tverdymi vkljuchenijami // Vestnik IGJeU, 2009.Vyp. 4. pp. 1–5.

2. Zhukov N.P. Gidrogazodinamika. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU». 2011. pp. 92.

3. Kruglov V.N. Sposob opredelenija proizvoditel'nosti plavil'nogo agregata. Pa-tent RU no. 2469962 ot 20.12.2012.

4. Modelirovanie zhidkosti s ispol'zovaniem GPU. URL: http://www.uraldev.ru/articles/id/29 (data obrashhenija: 08.12.2014).

5. Gamma Meccanica SpA, razrabotchik oborudovanija po proizvodstvu steklovaty i kamennoj vaty. [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.gamma-meccanica.it/ (data obrashhe-nija 12.01.2015).

6. Kruglov V., Kruglov A. Way to Estimate the Discharge of the Melt Jet Flowing out of a Melting Furnace // Pattern Recognition and Image Analysis. 2013. Vol. 23. no. 4. pp. 498–501.

7. Sirok B., Blagojevich B. Mineral wool. – WOODHEAD Publishing limited, Cambridge, England. 2008. 184.

Рецензенты:

Доросинский Л.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы радиотехники», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург;

Поршнев С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектроника информационных систем», Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 666.593

КАОЛИНЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СОЮЗНОЕ» КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ФАРФОРА

Курбанбаев М.Е., Есимов Б.О., Адырбаева Т.А.

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, e-mail: muk81981@mail.ru

Проведен комплексный анализ каолинов десяти наиболее перспективных казахстанских месторождений на возможную пригодность их для производства электротехнического фарфора. Объектом исследования выбраны каолины месторождения «Союзное». Исследованы химико-минералогические, гранулометрические составы, физико-химические и технологические свойства, а также фазовые превращения при термической обработке подобранных каолинов. Определен наиболее оптимальный способ обогащения природных каолинов, обеспечивающий высокое извлечение глинистой составляющей. Приведен сравнительный анализ технологических свойств каолинов обогащенных и необогащенных, в частности таких важнейших свойств, как содержание красящих оксидов, механическая прочность, воздушная усадка, огневая усадка и огнеупорность. Впервые научно обоснована и экспериментально доказана возможность использования казахстанского каолинового минерального сырья при разработке составов масс электротехнического фарфора с высокими механическими и диэлектрическими свойствами.

Ключевые слова: электротехнический фарфор, каолины, минеральное сырье, обогащение

KAOLINS OF THE DEPOSIT “SOYUZNOE” AS POTENTIAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF ELECTROTECHNICAL PORCELAIN

Kurbanbaev M.E., Esimov B.O., Adyrbaeva T.A.

M. Auezov South Kazakhstan state university, Shymkent, e-mail: muk81981@mail.ru

The complex analysis of kaolins of ten most perspective Kazakhstan deposit on possible suitability for the production of electrotechnical porcelain is carried out. The kaolins of deposit “Soyuznoe” are chosen as object of research. Chemical and mineralogical, granulometric compositions, physical and chemical and technological properties, and also phase transformations at heat treatment of the selected kaolins are researched. The most optimum way of natural kaolins enrichment providing high extraction of a clay component is determined. The comparative analysis of technological properties of the enriched and unenriched kaolins, in particular such main properties as content colouring oxides, mechanical strength, air shrinkage, fire shrinkage and fire resistance are given. The possibility of use of the Kazakhstan kaolinic mineral raw materials at developing of electrotechnical porcelain masses composition with high mechanical and dielectric properties is firstly scientifically based and experimentally proved.

Keywords: electrotechnical porcelain, kaolins, mineral raw materials, enrichment

Электротехнический фарфор – широко используемый в электротехнике материал. Его электрическая прочность, удельное поверхностное сопротивление, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, пористость, предел прочности при изгибе и сжатии обеспечиваются тщательным подбором и определением правильных соотношений компонентов сырьевых смесей фарфоровых масс [2].

Известно, что один из важнейших компонентов любых фарфоровых масс – каолины, введение которых обеспечивает расширение интервала спекания, увеличение прочностных показателей готовых изделий благодаря массовому формированию при обжиге кристаллических новообразований муллита. Полезные качества каолинов обусловлены их огнеупорностью, химической инертностью, белизной, дисперсностью, низкой диэлектрической проницаемостью и другими ценными свойствами [1, 4].

Электротехнические фарфоровые изделия в Казахстане пока не выпускаются, а заводы по производству фарфора хозяйственно-бытового назначения ориентированы на минеральное сырье из Уральского, Кавказского и Северо-Западного районов России, Украины, Узбекистана и др. Тем временем, по данным аналитиков, в последние годы в странах СНГ отмечается заметное истощение запасов качественного сырья для этой отрасли промышлености.

В сложившейся ситуации исследования по вовлечению сырьевых материалов из наиболее перспективных местных месторождений для подъема фарфоровой промышленности представляются весьма актуальными [3].

Целью работы является комплексное исследование каолинов месторождения «Союзное» для установления возможности и целесообразности использования их в производстве отечественного электротехнического фарфора.

Материал и методы исследования

Объект исследования – каолиновое минеральное сырье месторождения «Союзное».

Метод или методология проведения работы:

– комплексное химическое и минералого-петрографическое исследование сырья;

– изучение фазово-структурных изменений при термической обработке сырья и его физико-механических и технологических характеристик;

– анализ теоретических и полученных экспериментальных результатов;

– рекомендации по внедрению результатов исследований в производство.

Результаты исследования и их обсуждение

В Казахстане сосредоточено 19 % всех балансовых запасов каолинов стран СНГ. Нами проведен анализ геологического строения, вещественного состава, горнотехнических условий залегания каолиновых рудных тел и свойств каолинового сырья месторождений Алексеевское, Елтайское, Валентиновское, Бисембаевское, Жетыгаринское, Союзное, Уймшил и Мугоджарское на возможную пригодность их использования в составе сырьевых масс электротехнической керамики. В поле зрения находились сведения о технологических свойствах каолинов СНГ, широко используемых для производства фарфора и электрофарфора. В итоге для всесторонних опытно-экспериментальных исследований нами выбраны каолины месторождения «Союзное». При этом должное внимание уделялось также вопросам промышленной инфраструктуры, географии месторождения, транспортирования сырья, топливно-энергетической базы и др.

Месторождение «Союзное» находится в Айтекебийском районе Актюбинской области, в 3 км от ж.-д. станции «Союзная».

Генетически залежи каолинов «Союзного» приурочены к континентально-элювиальным осадкам коры выветривания, развитой по древним гранитам и сланцам. Полезная толща по запасам крупна и уникальна. Она имеет длину 500–3850 м, ширину 100–1300 м и мощность до 73,5 м [5].

Для решения задач исследований была отобрана представительная технологическая проба каолинов месторождения.

Каолины представлены плотными, довольно прочными комовидными разностями глин белого и светло-серого цветов. Усредненные результаты из пяти химических анализов проб из различных участков рудной залежи приведены в табл. 1.

По вещественному составу полезная толща месторождения «Союзное» классифицируется как каолинит-монтмориллонит-гидрослюдистая.

Рентгенофазовым анализом установлено, что необогащенные каолины состоят из каолинита – d/n = 7,1386; 4,230; 2,344; 1,670; 1,537, кварца – d/n = 3,351; 2,276; 2,233; 2,122; 1,981, полевых шпатов – d/n = 3,562; 3,351; 1,989, гидрослюды – d/n = 2,344; 2,122 и монтмориллонита – d/n = 2,233; 2,25; 1,69

Количественные соотношения минеральных фаз исследуемых каолинов, по данным петрографического, рентгенофазового и химического анализов, следующий: каолинит – 71–87 %, монтмориллонит – 6–8 %, гидрослюды 5–7 %, кварц – 6–8 % и прочие 2–4 %.

Как видно из табл. 1, содержание важнейшего оксида для керамики – Al_2O_3 в сырье с карьера составляет 28,94 %, что оставляет желать некоторого роста его количественного присутствия. Из данных процентных соотношений минеральных составляющих исследуемых каолинов явствует, что этого можно достичь путем удаления из сырья части гидрослюд (5–7 %) и примесей в группе прочих (2–4 %) с помощью простого обогащения.

На основании анализа и выбора способов обогащения глинистых видов сырья осуществлено обогащение каолинов «Союзное» в лабораторных условиях по безэлектролитной схеме мокрого обогащения, которая обеспечивала заметное увеличение объемной доли каолинита в сырье.

Результаты химического анализа каолинов после обогащения приведены в табл. 2, где отчетливо видны положительные изменения в составе сырья. В частности, количество глинозема достигло 36,52 %, что не уступает таковым каолинов из лучших месторождений стран СНГ.

Таблица 1

Средний химический состав каолинов «Союзного»

Содержание оксидов, % по массе								ппп
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	
59,75	28,94	1,87	0,73	0,32	0,47	0,26	0,11	8,53

Таблица 2

Химический состав обогащенных каолинов месторождения «Союзное»

Содержание оксидов, % по массе								ппп
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	
50,94	36,52	0,29	0,08	0,514	–	0,17	–	11,94

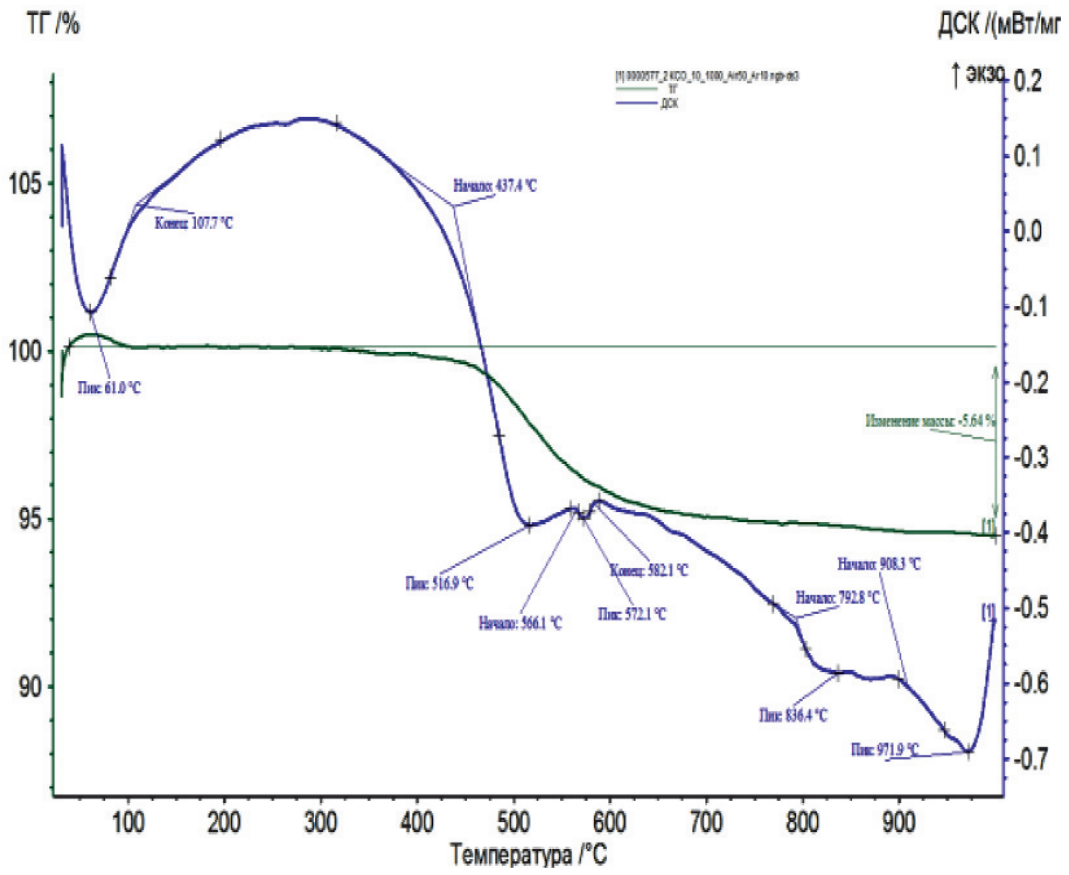


Рис. 1. Кривые ДТА каолинов месторождения «Союзное»

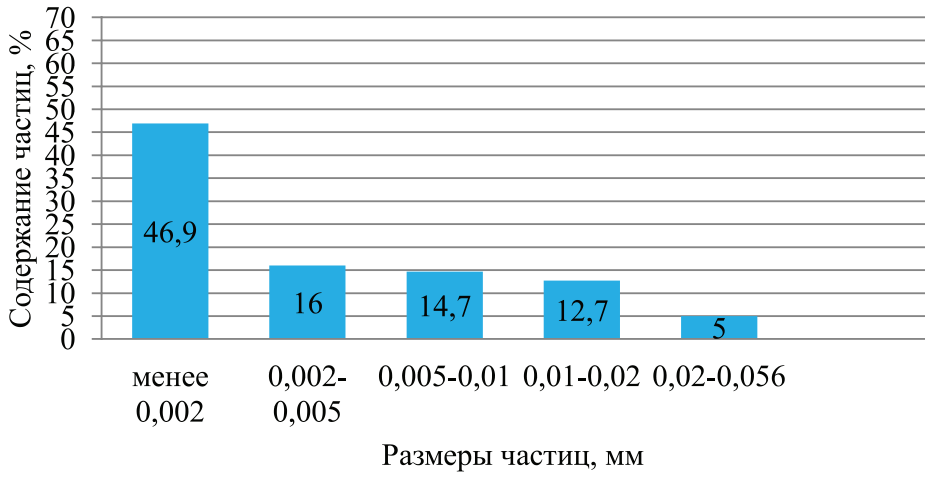


Рис. 2. Гранулометрический состав каолинов месторождения «Союзное»

Таблица 3

Основные технологические свойства обогащенных и необогащенных каолинов месторождения «Союзное»

№ п/п	Основные показатели каолинов	Единицы измерения	Характеристика каолинов по ГОСТ 9169-75 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация»		
			Рекомендуемые для производства фарфоровых изделий	Каолины месторождения «Союзное»	
				необогащенные	обогащенные
1	Огнеупорность	°С	огнеупорные	огнеупорные, 1600–1650	огнеупорные, 1690–1750
2	Содержание (массовая доля) Al_2O_3	%	–	основные, 28,94	основные, 36,52
3	Содержание красящих оксидов ($Fe_2O_3 + TiO_2$)	%	каолины с низким содержанием красящих оксидов	с весьма низким содержанием красящих оксидов, 0,79	с весьма низким содержанием красящих оксидов, 0,514
4	Минеральный состав			каолинитовые	каолинитовые
5	Механическая прочность на изгиб в сухом состоянии	МПа (кгс/см^2)	более 1 МПа (10 кгс/см^2)	0,9–4,38	7,8
6	Температура спекания	°С	–	высокотемпературного спекания, 1350	высокотемпературного спекания, 1400
7	Степень спекания	%	–	среднеспекающиеся, от 2 до 5	среднеспекающиеся, от 2 до 5
8	Воздушная усадка	%	–	7–8	11–13
9	Огневая усадка при 1350°С	%	–	2,1–2,7	4,5
10	Полная усадка	%	–	9–10	16–19,1

Слабый эндотермический эффект при 836,4°С свидетельствует о небольшом присутствии в каолине монтмориллонита.

Потеря массы при нагревании составляет 5,64%, что в пересчете указывает на содержание каолинита в обогащенном сырье в количестве 85–88%.

Гранулометрический состав исследуемых каолинов (рис. 2) близок аналогичной характеристике каолинового сырья известных зарубежных месторождений.

Проведены исследования по определению основных технологических свойств каолинов «Союзного» в соответствии с ГОСТ 9169-75. «Сырье глинистое для керамической промышленности». Результаты исследований отражены в табл. 3

Вышеприведенные результаты показывают значительное улучшение технологических свойств исследуемых каолинов после обогащения и по основным физико-химическим показателям обогащенные каолины месторождения «Союзное» соответствуют требованиям ГОСТ 21286-82 для марок КЭ-1, КЭ-2, КЭ-3.

Выводы

В результате проведенных комплексных исследований установлено, что:

– каолины месторождения «Союзное» по вещественному составу каолинит – монтмориллонит – гидрослюдистые с низким содержанием красящих оксидов;

– благодаря высокодисперсности в естественном виде сырье легко обогатимо;

– после безэлектролитного мокрого обогащения за счет роста объемной доли каолинита содержание глинозема в сырье превышает 36 процентов;

– по огнеупорности, массовой доле глинозема, содержанию красящих оксидов, минеральному составу, температуре и степени спекания и различным усадкам каолины месторождения «Союзное» вполне соответствуют требованиям к сырью для производства электротехнического фарфора.

Список литературы

1. Вакалова Т.В., Хабас Т.А., Верещагин В.И., Погребенков В.М. Глины. Особенности структуры и методы исследования. – Томск., 2005. – 248 с.

2. Верещагин В.И., Шаталов П.И., Могилевская Н.В. Бесспековая технология диопсидовых керамических диэлектриков на основе безжелезистого диопсидового сырья Слюдянского месторождения // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – № 8. – С. 33–38.

3. Курбанбаев М.Е., Кубесова Н., Есимов Б.О. Электротехнический фарфор на основе местного сырья // Проблемы геологии и освоения недр: XVIII Международный научный симпозиум имени академика М.А.Усова студентов и молодых ученых. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – С. 662–663.

4. Масленникова Г.Н., Солодкий Н.Ф., Солодкая М.Н., Шамриков А.С. Использование каолинов различных месторождений в производстве тонкой керамики // Стекло и керамика. – 2004. – № 8. – С. 14–24.

5. Месторождения горнорудного сырья Казахстана. Справочник. В 3-х т. / под. ред. А.А. Абдулина, Х.А. Беспаева, Э.С. Воцалевского, С.Ж. Даукеева, Л.А. Мирошниченко. – Алматы: Министерство экологии и природных ресурсов РК. Т. 2, 2000. – 251 с.

References

1. Vakalova T.V., Habas T.A., Vereshchagin V.I., Pogrebenkov V.M. Clays. Features of structure and methods of research. Tomsk., 2005. 248 p.

2. Vereshchagin V.I., Shatalov P.I., the Mogilevskaya N.V. Sinterless technology of diopside ceramic dielectrics on the basis of ironless diopside raw materials of the Slyudyansky deposit // Refractory materials and technical ceramics. 2006. no. 8. pp. 33–38.

3. Kurbanbayev M.E., Kubesova N., Yessimov B.O. Electrotechnical porcelain on the basis of local raw materials. XVIII International scientific symposium of students and young scientists named after academician M.A. Usov «Problems of geology and development of a subsoil». Tomsk: National research Tomsk polytechnical university (TPU), 2014. pp. 662–663.

4. Maslennikova G.N., Solodky N.F., Solodkaya M.N., Shamrikov A.S. Use of kaolins of various fields in production of thin ceramics Glass and ceramics. 2004. no. 8. pp. 14–24.

5. Fields of mining raw materials of Kazakhstan. Reference book. In 3 volumes / Under edition of A.A. Abdulin, H.A. Bespayev, E.S. Votsalevsky, S.Zh. Daukeev, L.A. Miroshnichenko. Almaty: Ministry of ecology and natural resources of Republic of Kazakhstan. Vol. no. 2. 2000. 251 p.

Рецензенты:

Жантасов К.Т., д.т.н., профессор кафедры «Химическая технология неорганических веществ», Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент;

Анарбаев А.А., д.т.н., профессор, директор научной лаборатории «ИРЛИП», Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 662.87

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКОЙ АМПЛИТУДЫ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ПОДАЧИ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОР ГАЗИФИКАЦИИ

Куфтырев К.А., Колосницын А.Н.

Закрытое акционерное общество «Бюро техники»,
Санкт-Петербург, e-mail: kuftyrev.konstantin@bt-comfort.ru, kolosnitsin.andrey@bt-comfort.ru

Рассматривается истечение пылевоздушной смеси твёрдого топлива в камеру газификации через горелочное устройство, представляющее собой прямоугольное отверстие перекрытое полукруглым арочным элементом. В качестве твёрдого топлива выбран каменный уголь. Численно исследуется влияние автоколебательного характера истечения на распределение температуры в камере и на протекание реакций газификации. Вычислительный алгоритм, реализованный в программном комплексе STAR-CCM+, включает в себя сеточную аппроксимацию по пространству второго порядка точности, неявный метод интегрирования по времени первого порядка точности и алгебраический многосеточный метод решения систем алгебраических уравнений. Показано, что предложенный способ подачи пылевоздушной смеси обеспечивает равномерный распыл топлива по пространству реактора, обеспечивая тем самым лучшие условия для протекания реакций газификации. Выход синтез-газа в рассмотренном случае составляет 2,35 м^3/кг топлива и имеет теплотворную способность 5,0 МДж/м^3.

Ключевые слова: численное моделирование, газификация пылевидного топлива, каменный уголь, автоколебания, синтез-газ

USING THE PHENOMENON OF ABNORMALLY HIGH AMPLITUDE OF SELF-OSCILLATORY PROCESS IN THE TASKS SUPPLY OF PULVERIZED FUEL IN THE GASIFICATION REACTOR

Kuftyrev K.A., Kolosnitsyn A.N.

Bureau of Techinics, St.-Petersburg,
e-mail: kuftyrev.konstantin@bt-comfort.ru, kolosnitsin.andrey@bt-comfort.ru

Considered outflow a dusty mixture of solid fuel in the gasification chamber through the burner, representing a rectangular hole covered by a semi-circular arch element. As a solid fuel selected hard coal. Numerically investigate the influence of the oscillatory nature of the outflow of the temperature distribution in the chamber and on the reactions of gasification. Computational algorithm implemented in the software package STAR-CCM+ includes a grid approximation of the space of the second order accurate, implicit method for the time integration of the first order accurate and algebraic multigrid method for solving systems of algebraic equations. It is shown that the proposed method of supplying air-dust mixtures provides a uniform spray of fuel in the space of the reactor, thus providing the best conditions for the reactions of gasification. The output of the syn-gas in the considered case is 2,35 m^3/kg of fuel has a calorific value of 5,0 MJ/m^3.

Keywords: numerical simulation, gasification of pulverized fuels, coal, self-oscillation, synthesis gas

Проведение натурных экспериментов для исследования теплоэнергетических процессов в условиях современной экономики дело крайне дорогое и порой не всегда эффективное. Этим объясняется повышенный интерес инженеров к альтернативным методам исследования, к коим относятся теоретическое и численное математическое моделирование. Последнее наиболее перспективно для использования в практической деятельности по причине большей гибкости и способности решать широкий круг задач с достаточной точностью. Это в первую очередь связано с растущими в последние десятилетия вычислительными мощностями и активным развитием универсальных программных продуктов, позволяющих с достаточной степенью точности, основываясь на численном решении подробных уравнений аэродинамики, химии и теплопереноса, исследовать различные сопряжённые явления и процессы [1]. Однако стоит признать, что совсем отказаться от физического эксперимента принципиально невозможно. Для любого класса задач необходима верификация используемой математической модели путём сопоставления расчётных данных с данными физического эксперимента. Более того, в зависимости от выбранной модели может потребоваться определение некоторых модельных параметров, которые в свою очередь возможно

определить только путём проведения физического эксперимента. Дополнительными преимуществами исследований методами численного моделирования, помимо существенного сокращения денежных затрат, являются высокая скорость и широта режимных и параметрических постановок. Ограничение по времени проведения исследования определяется исключительно располагаемыми вычислительными мощностями и постановкой решаемой задачи.

В настоящее время уже накоплен некоторый положительный опыт моделирования практических важных вопросов теплоэнергетики:

- расчёт динамики потоков у горелочного устройства, подбор оптимальных параметров конструкторских решений [3];
- моделирование горения в топочных камерах: прогнозирование полей температур и тепловых потоков в зоне реакций и количества образующихся вредных веществ [7];
- исследование динамики дисперсной фазы: конструкторские решения золоуловителей [8] и процессы горения пылевидного топлива [5];
- оценка уровня шлакоотлажения на стенках топочной камеры [6];
- течения в каналах и проточных частях энергоустановок [4];

Проведение численного эксперимента особенно актуально при исследовании новых явлений и влияния каких-либо новых конструкторских решений в процессах подготовки и сжигания топлива. Так, для исследования процессов газификации пылевидного твёрдого топлива не обойтись без предварительного расчёта и поиска оптимального режима работы газификатора. В работах [9, 10] показан успешный опыт применения предварительного исследования процессов газификации угольной пыли на определённой конструкции газификатора при различных режимах его работы. Полученные расчётные значение по составу и калорийности синтез-газа с удовлетворительной точностью совпадают с результатами, полученными в ходе опытной эксплуатации установки.

В данной работе представлены результаты использования методов математического моделирования в исследовании нового способа подачи твёрдого пылевидного топлива в зону реакции газификатора, отличающегося высокой интенсивностью турбулентного смешения топлива и окислителя с одновременно относительно низкой выходной скоростью, обеспечивающей более длительное нахождение частиц топлива в зоне реакции. Способ основан на явлении автоколебательного истечения из прямоугольного отверстия, перекрытого арочным элементом [2]. Данное течение характеризуется, во-первых, аномально высокой амплитудой колебаний, во-вторых, значительным увеличением интенсивности турбулентности потока и, наконец, снижением длины результирующего течения.

Постановка задачи

Эффективность использования синтез-газа во многом зависит от его калорийности, которая в свою очередь зависит от сорта используемого угля, выбранного режима газификации и конструктивных решений по реактору газификации. Используемое пылеугольное горелочное устройство будет в значительной степени определять его теплотехнические, экологические и потребительские качества. При использовании прямоточных или вихревых горелочных устройств в газификаторах достаточно сложно обеспечить одновременно долгое нахождение угольных частиц в зоне реакции и качественное смешение реагентов, участвующих в реакциях газификации. Во многом поэтому реакторы газификаторов, работающих на пылевидном топливе, имеют достаточно большие габариты. Применение предлагаемого в данной работе способа подачи пылевоздушной смеси посредством предлагаемого горелочного устройства, обеспечивающего «гашение» выходного потока пылевоздушной смеси одновременно с значительным увеличением интенсивности турбулентности потока, может позволить уменьшить габариты реактора газификатора, что в свою очередь снизит его стоимость без потери качества производимого синтез-газа.

Стоит отметить, что данное исследование носит достаточно академический характер, преследуя цель изучить принципиальную возможность использования нового вида автоколебательного течения для приложения к данной области энергетики.

В исследовании рассматривался условный реактор газификации, (рис. 1), с габаритами 1×2×4 метра, с установленным сверху горелочным устройством, выполненным в виде простого прямоугольного отверстия, перекрытого арочным элементом (рис. 2). Размер прямоугольного выходного отверстия горелочного устройства составляет 0,1×0,2 м. Арочный элемент исполнен в полукруглой форме. Бункер подачи топлива имеет габариты 0,5×0,5×0,3 метра.

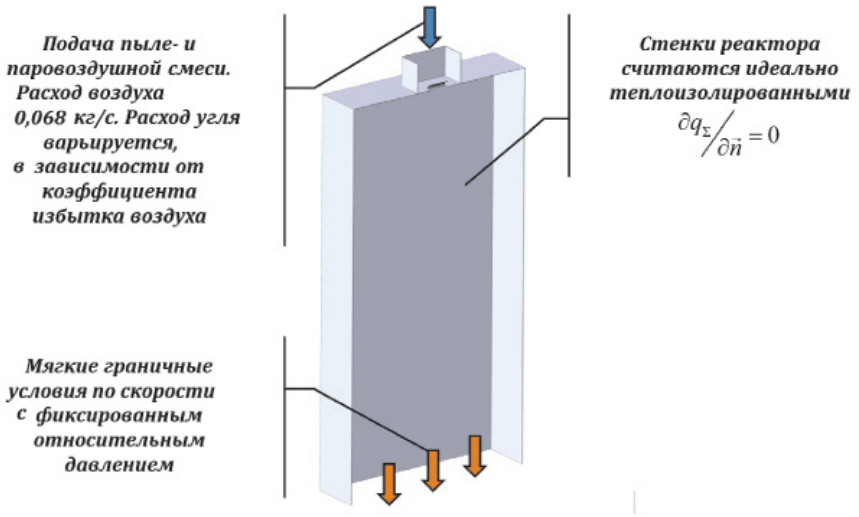


Рис. 1. Схема исследуемого реактора в продольном разрезе. Постановка граничных условий

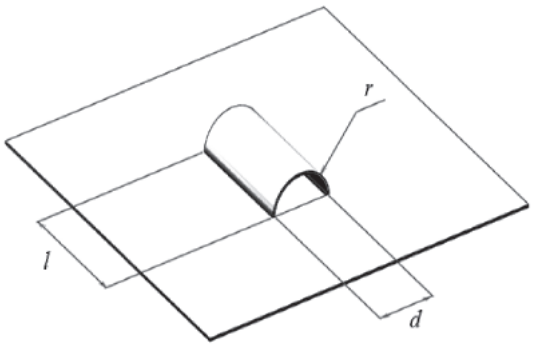


Рис. 2. Схема горелочного устройства. Прямоугольное отверстие, перекрытое полукруглым арочным элементом

Поскольку в реакторах газификации угольной пыли в потоке стенки реактора футеруются термостойким материалом, который в свою очередь перед запуском реактора активно прогревается, то стенки рассматриваемого реактора предполагались идеально теплоизолированными. В качестве приближения диаметр угольных частиц считался постоянным и равным 90 мкм. В качестве топлива рассматривается каменный уголь штата Юта, поскольку для данного вида угля имеются экспериментально определённые параметры реакций и он по составу в наибольшей степени схож с российским каменным углём (Кузнецкий марки Д), состав которого для сравнения представлен в табл. 1. Расход угольной пыли определяется из условия режима работы газификатора, который в свою очередь определяется коэффициентом избытка воздуха. Рассматриваются режимы с коэффициентом избытка воздуха от 0,3 до 0,5. Массовая доля пара в дутье варьируется от 5 до 15 % по значению массового расхода воздуха.

Таблица 1

Сравнение состава каменных углей

	Utah bit. [9]	Кузнецкий кам. Д
Влажность гигроскопическая	6,7	4,5
Зольность	10,4	18,0
Доля летучих	43,5	40,5
Чистый углерод	39,4	37,0
Элементарный состав угля, % *daf*		
C	75,34	77,69
H	5,29	5,51
O	12,95	13,64
N	1,58	2,62
S	4,84	0,55
Теплота сгорания на сухую массу, МДж/кг	27,4	21,9

Математическая модель

Для расчёта турбулентных течений, возникающих в исследуемом пространстве реактора газификатора, в программном комплексе STAR-CCM+ численно решается система уравнений Навье – Стокса, осреднённых по Рейнольдсу (RANS), записанных в нестационарной постановке для несжимаемой жидкости. Для моделирования турбулентности используется квадратичная k-ε модель турбулентности, состоящая из двух дополнительных уравнений переноса для кинетической энергии турбулентности

и скорости её диссипации. Для моделирования переноса излучения используется модель дискретных ординат (DO) с рассмотрением более 100 угловых направлений. Учитывается влияние присутствия угольной пыли в пространстве реактора на перенос теплового излучения.

Процесс сжигания и газификации пылеугольного топлива рассматривается состоящим из следующих последовательно протекающих стадий:

● Сушка и прогрев угольной пыли. На этой стадии под действием внешнего теплового потока происходит испарение остаточной гигроскопической влаги.

● Выход и сгорание летучих. На этой стадии также под действием внешнего теплового потока происходит процесс пиролиза твёрдого угля, в ходе которого образуются газообразные летучие горючие компоненты, которые, в свою очередь, при наличии окислителя воспламеняются и сгорают.

● Гетерогенные реакции горения и газификации твёрдого углистого остатка. После выхода летучих остаётся чистый углистый остаток, который трудно пиролизуется, но активно горит в твёрдой фазе и реагирует с водяным паром, образуя синтез-газ.

● Коксовый остаток. После всех стадий горения угля остаётся негорючий остаток, содержащий в основном негорючие минералы, состав которых определяется типом угля и его месторождением.

При расчёте реакций горения летучих в газовой фазе используется комбинированный подход диссипации вихрей (EDC) и конечной скорости реакции, рассчитываемой согласно закону Аррениуса. Параметры для расчёта скорости выхода летучих, скорости гетерогенных реакций горения и газификации определяются из опубликованных экспериментальных данных изучения конкретных сортов углей методами термогравиметрического анализа и микрокалориметрии [9].

Горение летучих описывается приближённой брутто-формулой

$$C_{n_C}H_{n_H}O_{n_O}N_{n_N} + \left(n_C + \frac{n_H}{4} - \frac{n_O}{2}\right)O_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow n_C CO_2 + \frac{n_H}{2}H_2O + n_N N_2,$$

здесь формула молекул летучих определяется прежде всего из состава рассматриваемого угля. Параметры для расчёта скорости реакции, описываемой согласно закону Аррениуса, определены экспериментально [9] и равны

$$A = 2{,}119 \cdot 10^{11}\ 1/\text{с};$$

$$E = 202{,}7\ \text{кДж/моль}.$$

Процесс пиролиза угольной пыли представлен в виде двух параллельно идущих реакций:

$$coal \xrightarrow{k1} (1 - Y_1) \cdot char + Y_1 \cdot volatiles;$$

$$coal \xrightarrow{k2} (1 - Y_2) \cdot char + Y_2 \cdot volatiles,$$

здесь $k1$ и $k2$ – скорости реакций первой и второй стадии соответственно; Y_1 и Y_2 – массовые стехиометрические коэффициенты. Параметры для расчёта скоростей реакций представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры реакций пиролиза угля [9]

	1 реакция	2 реакция
Y_i	0,1079	0,6384
A_i, 1/с	15336,33	$5{,}603 \cdot 10^{13}$
E_i, кДж/моль	30,09	79,87

Процесс горения и газификации представлялся тремя параллельно идущими гетерогенными реакциями:

$$char + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow CO;$$

$$char + CO_2 \rightarrow 2CO;$$

$$char + H_2O \rightarrow CO + H_2.$$

Для рассматриваемого сорта угля были приняты параметры реакции, представленные в табл. 2. Параметры реакций горения и газификации угля представлены в табл. 3. В данных реакциях учитывается зависимость их скорости от температуры, которая во всех случаях линейна.

Таблица 3

Параметры реакций горения и газификации угля [10]

	E_a, кДж/моль	A, 1/с
$char + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$	92,9	2,3
$char + H_2O \rightarrow CO + H_2$	147,1	1,33
$char + CO_2 \rightarrow 2CO$	130,1	3,149

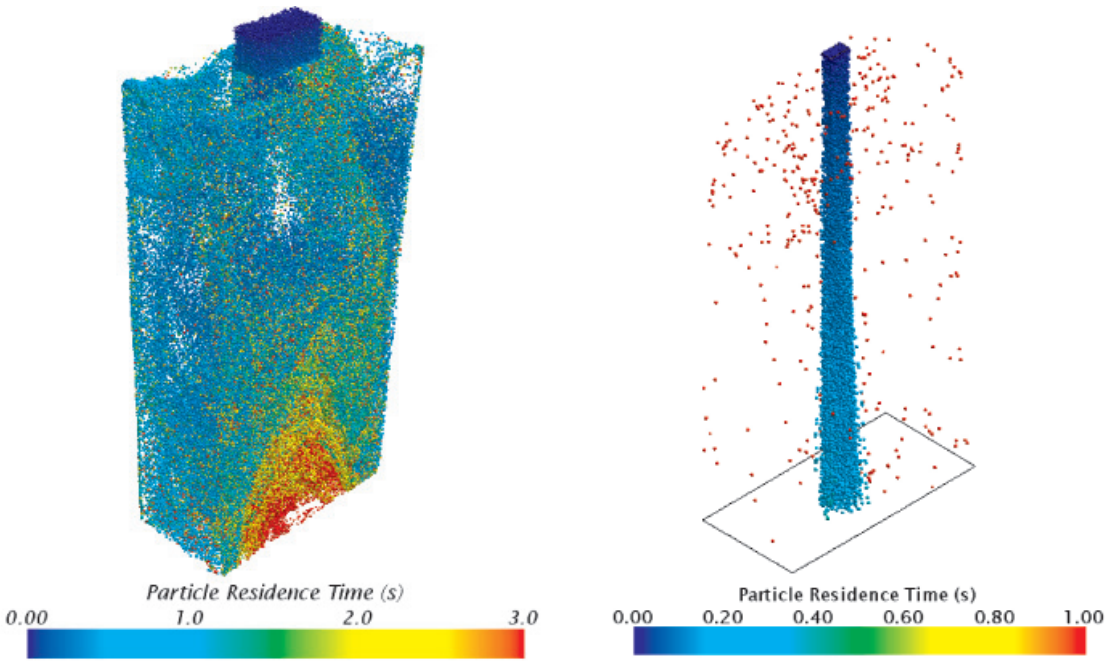
Результаты

Для создания эффективного пылеугольного горелочного устройства использовано гидродинамическое явление автоколебательного истечения двух встречно соосных потоков. Суть явления заключается в возникновении мощного автоколебательного процесса при истечении воздуха из отверстия прямоугольной формы, перекрытого арочным элементом [2]. Форма арочного элемента может быть как полукруглой, так и прямоугольной. Основная особенность предложенного метода заключается в аномально высокой амплитуде возникающих колебаний, а также в высокой интенсивности турбулентности потока, особенно важной в процессах сжигания топлив, способствующей быстрому смешению горючих компонентов с окислителем.

Один из главных параметров, влияющих на полноту протекания реакций, это время присутствия угольных частиц в зоне реакций. Длительное присутствие в зоне реакций увеличивает вероятность полного протекания процесса газификации топлива. На рис. 3 показано различие траекторий движения частицы в реакторе при простой прямоточной подаче пылевоздушной смеси и траекторий движения с использованием предлагаемой конструкции горелочного устройства. Стоит отметить, что при использовании предлагаемой конструкции выходного отверстия время присутствия частицы в зоне реакций газификации увеличилось в 6 раз, с 0,4 до 2,5 секунд.

Сравнение распределений температуры в пространстве реактора представлено на рис. 4. Для прямоточной подачи течение развивается как струйное, а факел имеет достаточно протяжённую форму, находясь на достаточном удалении от горелочного устройства, температура при этом распределена в пространстве существенно неравномерно. Иная форма факела образуется при использовании предлагаемого устройства. Течение характеризуется более равномерным распределением температуры в пространстве реактора, а также близким расположением фронта пламени к выходному отверстию горелки.

Отметим, что при равномерном распределении частиц в реакторе создаются благоприятные условия для интенсивного протекания реакций газификации. В табл. 4 представлено сравнение составов синтез-газа, образующегося при различных режимах работы реактора, отличающихся коэффициентом избытка воздуха и массовым содержанием пара в паровоздушном дутье.



а б

Рис. 3. Распределение угольных частиц в пространстве реактора: а – автоколебательное истечение; б – прямоточное истечение

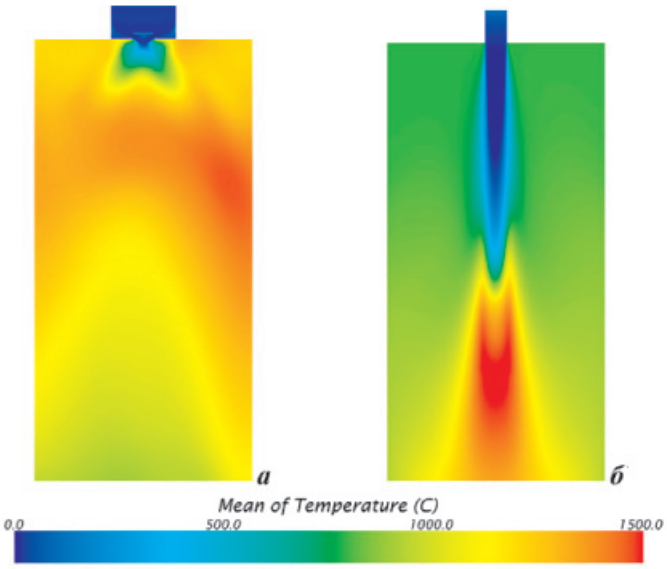


Рис. 4. Сравнение средних полей температуры при различных способах подачи топлива: а – автоколебательное истечение; б – прямоточное истечение

Таблица 4

Состав и низшая теплота сгорания получаемого сухого синтез-газа

Состав синтез-газа	CO, об. %	H_2, об. %	CO_2, об. %	N_2, об. %	Теплота сгорания, МДж/м^3
Коэффициент избытка воздуха – 0,3	29,87	12,10	1,20	56,82	5,084
Массовая доля пара в дутье – 0,05					
Коэффициент избытка воздуха – 0,3	23,71	17,15	4,37	54,76	4,851
Массовая доля пара в дутье – 0,10					
Коэффициент избытка воздуха – 0,3	21,48	19,96	5,71	52,85	4,872
Массовая доля пара в дутье – 0,15					
Коэффициент избытка воздуха – 0,4	27,71	8,95	2,87	60,47	4,470
Массовая доля пара в дутье – 0,05					
Коэффициент избытка воздуха – 0,4	22,40	13,68	5,13	58,79	4,310
Массовая доля пара в дутье – 0,10					
Коэффициент избытка воздуха – 0,4	18,25	18,86	6,88	56,00	4,345
Массовая доля пара в дутье – 0,15					
Коэффициент избытка воздуха – 0,5	24,58	7,81	4,46	63,15	3,951
Массовая доля пара в дутье – 0,05					
Коэффициент избытка воздуха – 0,5	22,01	11,92	5,65	60,42	4,071
Массовая доля пара в дутье – 0,10					
Коэффициент избытка воздуха – 0,5	15,32	18,27	7,33	57,16	3,910
Массовая доля пара в дутье – 0,15					

Видно, что использование горелочного устройства предлагаемой конструкции позволяет эффективно газифицировать пылеугольное топливо и получать низкокалорийный синтез-газ, который в дальнейшем может использоваться в ПГУ и ГТУ. Калорийность получаемого сухого синтез-газа варьируется от 3,9 до 5,0 МДж/м^3 в зависимости от режима работы реактора газификации. Видно, что оптимальный режим из многообразия рассмотренных в данной работе соответствует коэффициенту избытка воздуха 0,3 и массовой доли пара в дутье 5 %, для которого выход сухого синтез-газа составляет 2,35 нм^3/кг топлива. Для сравнения укажем, что в системе газификации

компании «Shell» на парокислородном дутье и при использовании каменного угля выход сухого синтез-газа составляет 2,08 нм^3/кг, а в системе компании «Техасо» также для парокислородного дутья и того же вида угля выход синтез-газа составляет 2,1 нм^3/кг [2]. Выгодное отличие от известных систем заключается в отсутствии необходимости организации высокого давления в реакторе: в данной работе давление в реакторе мало отличается от атмосферного, тогда как в представленных сравнительных примерах давление поддерживается выше 2,5 МПа.

Заключение

С использованием методов численного моделирования и с помощью программного комплекса STAR-CCM+ были проведены исследования динамики процессов газификации. Проведено сравнение динамики пылеугольного факела для простой прямоточной подачи пылевоздушной смеси и для новой конструкции выходного отверстия горелочного устройства. Сравнение показало:

- при использовании новой предлагаемой конструкции горелочного устройства наблюдается более равномерное распределение температуры и угольной пыли в пространстве реактора;
- время пребывания частиц в зоне реакций увеличилось в 6 раз, с 0,4 до 2,5 с;
- калорийность получаемого синтез-газа для различных режимов работы газификатора варьируется в пределах от 3,9 до 5,0 МДж/м^3.

Показана принципиальная возможность подачи пылевидного топлива в реактор с использованием эффекта автоколебательного процесса при истечении из прямоугольного отверстия, перекрытого арочным элементом.

Однако остаются открытыми вопросы конструктивного исполнения и интеграции в существующие объекты энергетики исследованного решения. Отмечается достаточно близкое расположение фронта пламени к выходному отверстию горелочного устройства. Выявленные особенности предлагаемой конструкции следует учитывать в последующих разработках.

Список литературы

1. Абрамов В.В. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / под общ. ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 388 с.

2. Бурцев С.И., Денисихина Д.М. Расчётное исследование течений, формирующихся при истечении воздуха из прямоугольных отверстий, перекрытых арко // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы Междунар. науч.-тех. конф. – М.. 2005.

3. Гешева Е.С., Литвинов И.В., Шторк С.И., Алексеенко С.В., Анализ аэродинамической структуры течения в моделях вихревых горелочных устройств // Теплоэнергетика. – 2014 – № 9. – С. 33–41.

4. Скороспелов В.А., Турук П.А., Чёрный С.Г., Шаров, С.В., Численное моделирование во всей проточной части гидротурбины // Труды международной конф. RDAMM-2001. – 2001. – т. 6, ч. 2. – С. 570–584.

5. Abani N., Ghoniem A. Large eddy simulation of coal gasification in an entrained flow gasifier // Fuel, vol. – 2013. – № 104. – P. 664–680.

6. Chen L., Ghoniem A. Development of a three-dimensional slag flow model for coal combustion and gasification // Fuel. – 2013. – Vol. 113. – P. 357–366.

7. Cho C.H., Baek G.M., Sohn C.H., Cho J.H., Kim H.S. A numerical approach to reduction of NOx emission from swirl premix burner in a gas turbine combustor // Applied Thermal Engineering. – 2013. – Vol. 59. – P. 454–463.

8. Shaaban S. Numerical optimization and experimental investigation of the aerodynamic performance of a three-stage gas–solid separator // Chemical Engineering Research and Design. – 2011. – Vol. 89. – P. 29–38.

9. Vascellari M., Arora R., Pollack M., Hasse C., Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 1: Pyrolysis // Fuel. – 2013. – Vol. 113. – P. 654–669.

10. Vascellari M., Arora R., Hasse C., Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 2: Char conversion // Fuel. – 2014. – Vol. 118. – P. 369–384.

References

1. Abramov V.V. Sovremennye prirodoohrannye tehnologii v jelektrojenergetike: Informacionnyj sbornik / pod obshh. red. V.Ja. Putilova. M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2007. 388 p.

2. Burcev S.I., Denisihina D.M. Raschjotnoe issledovanie techenij, formirujushhihsja pri istechenii vozduha iz prjamougol'nyh otverstij, perekrytyh arko // Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzhenija i ventiljacii: materialy Mezhdunar. nauch.-teh. konf. M.. 2005.

3. Gesheva E.S., Litvinov I.V., Shtork S.I., Alekseenko S.V., Analiz ajerodinamicheskoj struktury techenija v modeljah vihrevyh gorelochnyh ustrojstv // Teplojenergetika. 2014 no. 9. pp. 33–41.

4. Skorospelov V.A., Turuk P.A., Chjornyj S.G., Sharov, S.V., Chislennoe modelirovanie vo vsej protochnoj chasti gidroturbiny // Trudy mezhdunarodnoj konf. RDAMM-2001. 2001. t. 6, ch. 2. pp. 570–584.

5. Abani N., Ghoniem A. Large eddy simulation of coal gasification in an entrained flow gasifier // Fuel, vol. 2013. no. 104. pp. 664–680.

6. Chen L., Ghoniem A. Development of a three-dimensional slag flow model for coal combustion and gasification // Fuel. 2013. Vol. 113. pp. 357–366.

7. Cho C.H., Baek G.M., Sohn C.H., Cho J.H., Kim H.S. A numerical approach to reduction of NOx emission from swirl premix burner in a gas turbine combustor // Applied Thermal Engineering. 2013. Vol. 59. pp. 454–463.

8. Shaaban S. Numerical optimization and experimental investigation of the aerodynamic performance of a three-stage gas–solid separator // Chemical Engineering Research and Design. 2011. Vol. 89. pp. 29–38.

9. Vascellari M., Arora R., Pollack M., Hasse C., Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 1: Pyrolysis // Fuel. 2013. Vol. 113. pp. 654–669.

10. Vascellari M., Arora R., Hasse C., Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 2: Char conversion // Fuel. 2014. Vol. 118. pp. 369–384.

Рецензенты:

Бурцев С.И., д.т.н., профессор, управляющий партнер ЗАО «Бюро техники», г. Санкт-Петербург;

Дацюк Т.А., д.т.н., профессор, заведующая кафедрой строительной физики и химии, СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 658.26:66.013

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

[1]Лаптев А.Г., [2]Башаров М.М.

[1]ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, e-mail: tvt_kgeu@mail.ru;

[2]ОАО «ТАНЕКО», Нижнекамск, e-mail: tvt_kgeu@mail.ru

Рассмотрены способы и примеры повышения энергоэффективности тепломассообменных установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса. Представлен научный подход к решению данной проблемы. Описаны методы математического моделирования явлений переноса и определения эффективности промышленных аппаратов с учетом масштабного перехода. Для этого используется вариационная формулировка законов сохранения импульса, массы и энергии. Отмечены способы энергосбережения и методы повышения энергоэффективности промышленных установок. Особое внимание уделяется модернизации колонных аппаратов с использованием новых отечественных контактных устройств, что обеспечивает импортозамещение. Даны сравнительные характеристики контактных насадок. Отмечен ряд примеров внедрения насадок в промышленных тепломассообменных и сепарационных аппаратах с большим энергосберегающим эффектом. Кроме энергосбережения также решаются задачи повышения качества продукции и экологической безопасности производств.

Ключевые слова: импортозамещение, энергоэффективность, модернизация, тепломассообмен, нефтехимия, насадка, ректификация, сепарация

IMPROVING SYSTEMS ENERGY EFFICIENCY AND IMPORT SUBSTITUTION IN PETROCHEMICAL COMPLEX

[1]Laptev A.G., [2]Basharov M.M.

[1]Kazan State Power Engeneering University, Kazan, e-mail: tvt_kgeu@mail.ru;

[2]JSC «TANECO», Nizhnekamsk, e-mail: tvt_kgeu@mail.ru

Energy efficiency improving ways and examples in heat and mass transfer setting at enterprises petrochemical complex are considered. A scientific approach to solve this problem is presented. The methods of transport phenomena's mathematical modeling and determining of the industrial devices efficiency with the scale transition are described. Various formulation of the momentum, mass and energy conservation laws are used. Power save methods and ways of industrial plants energy efficiency improving are noted. Particular attention is paid to the modernization of columns using the new national contact devices, that provides import substitution. The comparative characteristics of nozzles are given. A number examples of nozzles introduction in industrial machines with a large energy-saving effect are noted. In addition to energy savings also problems of increasing product quality and environmental safety are solved.

Keywords: import substitution, energy efficiency, modernization, heat and mass transfer, petrochemicals, nozzle, distillation, separation

Европейский союз (ЕС) принял стратегический план («План – 20-20-20»), в соответствии с которым к 2020 г. необходимо снизить энергопотребление всех стран Союза на 20 % по сравнению с 2008 г., уменьшить на 20 % выбросы парниковых газов и заменить на 20 % традиционные источники возобновляемыми. В России также принята программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [15, 16, 20]. Предполагается снижение энергоемкости ВВП РФ на 40 %.

Основными потребителями природного топлива (нефти, включая газовый конденсат, природного горючего газа, угля) в России являются организации промышленного производства (34–37 %), транспорта и связи (22–27 %) и население (32–36 %). По потреблению тепловой энергии лидирующие позиции также занимают промышленные предприятия (43–47 %) и население (38–40 %).

Одними из основных производителей тепловых ресурсов являются тепло- и электрогенерирующие станции (ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС), а потребителями тепловой и энергетической энергии – нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность.

Нефтегазохимический комплекс входит в число основных отраслей РФ и включает в себя несколько видов производственной деятельности: производство нефтепродуктов, химическое и нефтехимическое производство, производство резиновых и пластмассовых изделий и др. Предприятия нефтегазохимического комплекса размещены практически во всех субъектах Российской Федерации. Стратегической целью развития нефтегазохимического комплекса

является повышение его производительности и снижение энергозатрат на единицу выпускаемой продукции за счет технологической модернизации. Основные проблемы заключаются в следующем [8]:

– низкая глубина переработки нефти;

– большая зависимость от зарубежных поставщиков оборудования и длительные сроки поставок;

– значительное превышение стоимости проектов от исходной величины;

– повышенные энергозатраты по сравнению с зарубежными производствами.

Известно, что отечественные нефтеперерабатывающие и нефтехимические производства весьма энергоемки по сравнению с зарубежными, что свидетельствует о больших возможностях снижения энергозатрат. Затраты на энергетические ресурсы в нефтехимии составляют около 50 % от затрат на сырьевые ресурсы.

В процессах переработки нефти и нефтехимии фактический расход энергоресурсов значительно превышает теоретически необходимый. Фактические затраты энергоресурсов примерно в 1,7–2,6 раза превышают теоретически необходимый минимум. Так как в промышленности РФ около 40–45 % энергоресурсов расходуется полезно, а остальное количество либо трансформируется в различного вида потоки, энергию которых невозможно использовать, либо же теряется.

Большинство промышленных установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса и энергетики проектировались еще в СССР, и поэтому энергетический и производственный потенциал России в настоящее время устарел и является энергозатратным. В результате энергоемкость ВВП России в 2,5 раза выше среднего мирового уровня и в 2,5–3,5 раза выше уровня развитых стран. В связи с этим повышение энергоэффективности и энергосбережение является актуальным и важным направлением будущего экономического роста России.

Энергоэффективность – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов, т.е. использование меньшего количества энергии для обеспечения технологического процесса и выпуска продукции на производстве. При этом должно обеспечиваться достижение экономически оправданной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при соблюдении требований к качеству выпускаемой продукции и экологической безопасности производства. В отличие от энергосбережения энергоэффективность направлена на полезное расходование энергии на промышленных установках. Известно, что энергоэффективность и энергосбережение входит в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития РФ.

Объекты для повышения энергоэффективности широко представлены на предприятиях нефтегазохимического комплекса (теплоиспользующие и теплопередающие установки). В первую очередь такими промышленными объектами являются установки и аппараты с большими тепловыми нагрузками и различное вспомогательное оборудование. Это установки ректификации, выпарные установки, абсорберы, аппараты охлаждения (или нагрева) газов (паров) и жидкостей через разделяющую стенку или при непосредственном контакте фаз. Эти установки работают с различным вспомогательным оборудованием – отстойники, фильтры, циклоны, газосепараторы и т.д. Поэтому системный анализ и комплексное рассмотрение процессов в таких установках являются важной и актуальной задачей современной науки на предприятиях нефтехимии и ТЭК.

Под энергосбережением понимают реализацию организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на более эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Эти меры могут иметь пассивный, активный и организационный характер. Пассивные меры, например использование новой теплоизоляции, как правило, дают относительно небольшую экономию энергоносителей по сравнению с активными. Пассивные меры более актуальны при передаче теплоты на большие расстояния, а также при больших перепадах температур. На предприятиях нефтегазопереработки к активным мерам можно отнести изменение технологии, оптимизацию режима установок, использование более эффективных катализаторов и контактных устройств. Совокупность таких мер (научно-технических решений) может дать снижение потребляемой энергии на производственный процесс в несколько раз. Так, например, замена ректификационных аппаратов в производстве этаноламинов на более эффективные и оптимизация технологического режима позволили снизить затраты на единицу выпускаемой продукции почти в четыре раза [1]. Аналогичный подход по модернизации установки выделения товарного фенола с повышением качества до высшего сорта дает также значительный энергосберегающий эффект (снижение расхода греющего пара на 40 %) [2].

Научный подход к проблеме энерго- и ресурсосбережения приводит к рассмотрению задачи на различных иерархических

уровнях, которые классифицируются следующим образом [17]:

1) наномасштаб (молекулы);

2) микромасштаб (частицы, капли, пузыри);

3) мезомасштаб (основные процессы и аппараты);

4) макромасштаб (агрегат, установка, завод);

5) мегамасштаб (рынок, окружающая среда).

В данной статье рассматриваются задачи, связанные со вторым, третьим и четвертым уровнями.

Математическое моделирование в задачах повышения энергоэффективности

Для решения проблем импортозамещения и повышения эффективности процессов при проектировании или модернизации промышленных установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса разработан метод сопряженного физического и математического моделирования тепломассообменных процессов в промышленных аппаратах [5, 6, 9, 10, 14].

Метод позволяет значительно сократить этапы экспериментальных исследований при модернизации или проектировании новых аппаратов и основан на построении математического описания элементарных явлений, где влияние масштаба устройства и других возмущений (подвижная поверхность раздела фаз, кривизна и шероховатость поверхности, процессы испарения и конденсации, закрученное движение фаз) учитывается параметрически на основе удовлетворения интегральному балансу импульса через межфазную поверхность, используя известные свойства консервативности законов трения в пристенной турбулентности.

На основе описания элементарных актов – построение замкнутых математических моделей тепломассопереноса в двухфазных средах газ-(пар)-жидкость, жидкость-жидкость на контактных устройствах колонных аппаратов различных конструкций и масштабов; алгоритмов вычисления полей скоростей, концентраций температур для определения эффективности тепломассообмена в двухфазных средах; а также выбор вариантов реконструкции колонных аппаратов для повышения их эффективности и производительности.

Основные свойства элементарного акта переноса – это инвариантность структуры математического описания к масштабу аппарата и к взаимодействию с другими явлениями. Влияние этих факторов не изменяет структуру математического описания, а учитывается параметрически [5, 6, 9, 10, 14].

Для определения параметров пограничного слоя в одно- и двухфазных средах предложено использовать известные свойства консервативности законов трения к возмущающим факторам. Поэтому в качестве теоретической основы для определения средних значений коэффициентов массо- и теплоотдачи применяется математическое описание плоского пограничного слоя без наличия возмущений, а влияние различных возмущений (градиент давления, шероховатость поверхности, поперечный вдув и т.д.) учитывается в интегральном соотношении баланса импульса через межфазную поверхность, используя результаты физического моделирования. При физическом моделировании исследуется гидродинамика потока и измеряется перепад давления на контактном устройстве. Вводятся эквивалентные параметры градиентных (возмущенных) и безградиентных потоков, такие как среднее касательное напряжение и скорость обтекания. Среднее касательное напряжение находят, используя известное значение перепада давления на контактном устройстве, полученное при физическом моделировании. На основе соотношения баланса импульса в пограничном слое производится коррекция параметров модели и учитывается неоднородность полей, вызванная различными возмущениями.

Известно, что в промышленных аппаратах возникают гидродинамические неоднородности (масштабные эффекты), которые снижают эффективность проводимых процессов. Поэтому предложен переход от моделирования элементарных явлений к процессам переноса на промышленных контактных устройствах. В этом случае двухфазный поток условно разбивается на зоны, где в пределах погрешности эксперимента можно допустить равномерное распределение фаз. Определение параметров модели выполняется для каждой зоны с учетом реальной гидродинамической обстановки. Для этого используется вариационная формулировка законов сохранения [5, 6].

Способы энергосбережения и повышения эффективности процессов

Известно, что существуют четыре группы способов уменьшения энергетических затрат и повышения энергоэффективности:

1) увеличение поверхностей контакта фаз в аппаратах, времени протекания реакции, применение более активных катализаторов и т.п. Все эти способы позволяют приблизиться к равновесию при

выходе из аппарата, но часто являются очень дорогостоящими и не всегда дают возможность снизить энергозатраты;

2) изменение технологического режима, оптимизация существующих производств, что не связано с изменением технологической схемы;

3) поиск новых, более совершенных теплотехнологических схем, возможно, включающих подсистемы рекуперации вторичных энергоресурсов. Идеальным вариантом организации производства является энергообеспечение за счет экзотермических процессов;

4) применение совмещенных процессов, которые позволяют сократить не только энергетические, но и капитальные затраты.

Энергетическая эффективность производства определяется тем, насколько полно используется подаваемая извне и производимая внутри энергия, т.е. насколько низки потери энергии.

Энергетические потери принято разделять на две группы с точки зрения их распределения:

– внешние, связанные с условиями взаимодействия системы с окружающей средой;

– внутренние, связанные с необратимостью любых реальных процессов, протекающих внутри системы.

Значения внешних и внутренних потерь вычисляют на основании первого и второго начала термодинамики соответственно.

К внешним потерям относят потери через тепловую изоляцию; с продуктами, энергия которых не используется внутри системы, например с дистиллятом и кубовым остатком ректификационной колонны, охлаждающей водой и т.д.

Основные подходы и методы энергоэффективности и энергосбережения, используемые авторами, заключаются в следующем [1, 2, 14]:

1. Замена устаревших контактных устройств в промышленных аппаратах на отечественные более эффективные, что обеспечит интенсификацию тепло- и массообменных процессов, повышение качества выпускаемой продукции, снижение энергозатрат на единицу продукции.

2. Выбор энергоэффективного технологического режима с точки зрения минимизации энергетических затрат при заданном качестве выпускаемой продукции и экологической безопасности.

3. Модернизация или замена вспомогательного оборудования на тепломассообменных установках для обеспечения высокой степени энергоэффективной очистки теплоносителей, технологических потоков, газовых и жидких выбросов.

4. Изменения в теплотехнических схемах с целью энергоэффективного распределения тепловых нагрузок.

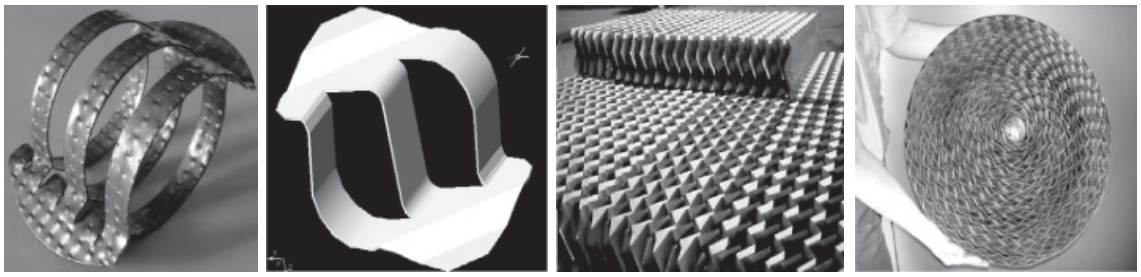
Импортозамещение заключается прежде всего в использовании отечественных контактных устройств (тепломассообменных насадок, тарелок, сепарирующих элементов и т.д.), не уступающих по теплогидравлической, массообменной и сепарационной эффективности зарубежными аналогам, а также технологичным в изготовлении и монтаже.

Критерии энергоэффективности**.** Для решения задач повышения энергоэффективности промышленных теплоиспользующих установок можно применять известные методы оптимизации с использованием критериев оптимальности. В качестве таких критериев могут быть различные КПД и энергетические комплексы и коэффициенты. К таким КПД относятся: тепловой и энергетический КПД, термический цикла Карно, относительный КПД теплоэнергетической установки, утилизаторов теплоты – эффективности теплообмена, предложенный Кейсом и Лондоном, коэффициент использования теплоносителя и др. [3].

Важным критерием оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов служит энергоемкость выпускаемой продукции, т.е. отношение потребляемых топливно-энергетических ресурсов (приведенных к условному топливу) к количеству выпускаемой продукции. Естественно, использование любых критериев энергоэффективности имеет смысл, если промышленная установка (производство) обеспечивает заданное качество выпускаемой продукции в заданном интервале нагрузок по исходному сырью.

В работах [1, 3, 14] для выбора энергоэффективных и энергосберегающих научно-технических решений по модернизации теплоиспользующих промышленных установок используются тепловой и энергетический к.п.д., энергетические коэффициенты Кирпичева и Ануфьева, коэффициенты эффективности массообмена и очистки газов и жидкостей. Конечной целью является снижение энергозатрат на единицу выпускаемой продукции в нефтегазохимическом комплексе и энергосберегающие схемы и аппараты очистки газов и жидкостей в энергетике.

Контактные насадки. Одним из приоритетных направлений по повышению эффективности процессов и энергосберегающей модернизации тепломассообменных аппаратов является разработка и внедрение новых регулярных и нерегулярных контактных насадок.



а б в г

Насадки:
а – «Инжехим-2000»; б – «Инжехим-2002»; в – регулярная блочная;
г – регулярная рулонная гофрированная насадка «Инжехим» [7, 14]

Сравнительные характеристики промышленных насадок размером 50×50 мм [14]

Тип насадки	$\varepsilon_{св}$, м^3/м^3	a_v, м^2/м^3	Потеря напора, % отн	Пропускная способность, % отн	Эффективность, % отн
Кольца Рашига	0,95	110	100	100	100
Кольца Палля	0,96	100	63	120	125
Хай – Пэк	–	–	65	120	150
Кольца Бялецкого	–	–	85	100	125
Седла Инталокс	–	–	32	144	132
Насадка Лева	0,97–0,98	118	47	–	158
Насадка ГИАП	0,96	101	47	133	137
Инжехим-2000	0,96	103	16–22	180–210	153

Наиболее широкое применение получили следующие тепломассообменные нерегулярные и регулярные контактные устройства: насадки «Инжехим-2000» [7, 14] (рисунок), керамические и стальные кольца Рашига, стальные кольца Палля, кольца ZulzerC-Ring № 2.5 [7, 14, 18], регулярная насадка Mellapak фирмы «Zulzer Chemtech» 125Y [18], регулярная рулонная насадка «Инжехим»; спиральная насадка с косым гофром, насадка «зиг-заг» и плоскопараллельная насадка.

Отечественная нерегулярная насадка «Инжехим-2000» и ее аналоги являются современной альтернативой кольцам Палля, Рашига и другим зарубежным насадкам. При равной высоте слоя они обеспечивают большую производительность, меньшее удельное гидравлическое сопротивление и более высокое качество разделения смесей.

У регулярной рулонной гофрированной насадки «Инжехим» (рисунок) гофры смежных листов расположены перекрестно по отношению друг к другу и образуют каналы для потока паровой фазы с интенсивной турбулентностью. Нерегулярные и регулярные насадки выполняются с элементами шероховатости, что повышает коэффициент массоотдачи в жидкой фазе. Насадки «Инжехим» технологичны в изготовлении и монтаже в колонну. Характеристики насадок даны в таблице.

Основные результаты и выводы

Пример модернизации массообменных колонн с импортозамещением можно привести по установке газоразделения в производстве этилена на щелочной очистке пирогаза от CO_2 водным раствором щелочи. Замена контактных устройств – колец Рашига на новую насадку «Инжехим-2000» (рисунок) позволила снизить гидравлическое сопротивление колонн в 3–4 раза и значительно повысить эффективность процесса хемосорбции. Уменьшились энергозатраты на подачу пирогаза, понизился расход щелочи и сократились потери товарного этилена из-за превышения CO_2. Энергетический коэффициент повысился в 4 раза. Кроме этого, решена задача повышения эффективности установки охлаждения пирогаза водой [14]. Также данная насадка нашла успешное применение в колоннах для разделения этаноламинов и этиленгликолей. На установке разделения этаноламинов снижены энергозатраты почти в 2 раза за счет повышения эффективности ректификации и оптимизации флегмовых чисел в колоннах [1].

Решена задача проектирования новой ректификационной колонны получения фенола с использованием современных отечественных контактных устройств на ОАО «Казаньоргсинтез». В качестве контактных устройств в колонне использованы регулярная и нерегулярная насадки «Инжехим». Насадочный вариант новой массообменной колонны выделения фенола обеспечил повышенное качество выпускаемой продукции и снизил расход греющего пара в кипятильнике на 30% за счет снижения расхода флегмы [2]. Экономический эффект за счет энергосбережения составляет более 500 тысяч евро в год, а за счет повышения качества фенола – в несколько раз больше.

Модификация насадки «Инжехим-2000» внедрена в термическом деаэраторе на Казанской ТЭЦ-3. В результате эффективность удаления растворенного кислорода из воды повысилась в 2 раза по сравнению с работой струйного деаэратора до модернизации [11].Энергетический коэффициент повысился в 2,5 раза.

С использованием регулярных и нерегулярных насадок «Инжехим» разработана конструкция газосепаратора аэрозолей. Несколько десятков сепараторов внедрено на установках газоразделения в производстве этилена и на установках очистки природного газа (Газпром, Новатэк и др.). Эффективность сепарации составляет не менее 98–99% [4, 12, 13, 19] и обеспечивается стабильность работы компрессорных установок и энергосбережение.

Таким образом, приведенные примеры показывают, что энергосберегающие модернизации и разработку новых энергоэффективных промышленных установок можно выполнять без привлечения зарубежных фирм.

Статья выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности. Заявка № 13.405.2014/К.

Список литературы

1. Башаров М.М., Лаптева Е.А. Модернизация промышленных установок разделения смесей в нефтегазохимическом комплексе / под ред. А.Г. Лаптева. – Казань: Отечество, 2013. – 293 с.

2. Башаров М.М., Лаптев А.Г. Энергосбережение на ректификационных установках в производстве фенола и ацетона // Химическая промышленность сегодня. – 2014. – № 4. – С. 48–52.

3. Башаров М.М., Лаптев А.Г. Комплексная оценка тепломассообменных и энергетических характеристик контактных устройств // Надежность и безопасность энергетики. – 2014. – № 4 (27). – С. 50–54.

4. Башаров М.М., Тараскин М.М. Очистка газов от дисперсной фазы в нефтегазохимическом комплексе и энергоресурсосбережение / под ред. А.Г. Лаптева. – Казань: Отечество, 2014. – 206 с.

5. Дьяконов С.Г., Елизаров В.В., Елизаров В.И. Теоретические основы проектирования промышленных аппаратов химической технологии на базе сопряженного физического и математического моделирования. – Казань: Изд-во Казанск. гос. технол. ун-та, 2009. – 452 с.

6. Дьяконов С.Г., Елизаров В.И., Лаптев А.Г. Теоретические основы и моделирование процессов разделения веществ. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1993. – 438 с.

7. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / под ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.

8. Капустин В.М. Модернизация нефтепереработки и нефтехимии в России // Химагрегаты. – 2013. – № 4 (декабрь). – С. 12–16.

9. Лаптев А.Г. Модели пограничного слоя и расчет тепломассообменных процессов. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2007. – 500 с.

10. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учебно-справочное пособие. – Казань: Теплотехник, 2011. – 285 с.

11. Лаптев А.Г., Силов И.Ю., Долгов А.Н., Фарахов М.М. Модернизация термических деаэраторов на ТЭЦ // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 2 (82). – С. 12–14.

12. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Башаров М.М. Повышение эффективности установок газоразделения в производстве этилена // Химическое нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 8. – С. 27–30.

13. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г. Энерго- и ресурсосберегающие модернизации промышленных установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2011. – № 2(9). – С. 150–158.

14. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г. Основы расчета и модернизация тепломассообменных установок в нефтехимии. – Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2010. – 574 с.

15. Министерство энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: http://www.minenergo.gov.ru.

16. Проект: энергоэффективная Россия. [Электронный ресурс] URL: http:// www.energy2020.ru/energy_russia/about.

17. Саркисов П.Д. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии // Химическая промышленность. – 2008. – № 11. – С. 14–17.

18. Сокол Б.А., Чернышев А.К., Баранова Д.А. Насадки массообменных колонн. – М.: «Галилея-принт», 2009. – 358 с.

19. Фарахов М.И., Лаптев А.Г. Энергоэффективное оборудование разделения и очистки веществ в химической технологии // Вестник Казанского технологического университета. –2011. – № 9.– С. 152–158.

20. Энергоэффективность и конкурентность экономики России. [Электронный ресурс] URL: http://www.ru.abaut/what_we_do/drecnenergy/energoeffect/economy.

References

1. Basharov M.M., Lapteva E.A. Modernizatsiya promyshlennykh ustanovok razdeleniya smesei v neftegazokhimicheskom komplekse. [Modernization of industrial mixtures separation apparatus of petrochemical complex]. Kazan: Fatherland, 2013. 293 p.

2. Basharov M.M., Laptev A.G. Khimicheskaya promyshlennost segonya, 2014, no.4, pp. 48–52.

3. Basharov M.M., Laptev A.G. Nadezhnost i bezopasnost energetiki, 2014, no. 4 (27), pp. 50–54.

4. Basharov M.M., Taraskin M.M. Ochistka gasov ot dispersnoy fazy v neftegazokhimicheskom komplekse I energoresursosberezhenie. [Gases purification from the dispersed phase in the petrochemical complex and energy and resource saving]. Kazan: Fatherland, 2014. 206 p.

5. Dyakonov S.G., Elizarov V.V. Elizarov V.I. Teoretichskie osnovy proektirovaniya promyshlennykh apparatov khimicheskoy tekhnologii na baze sopryazhennogo fizicheskogo I matematicheskogo modelirovaniya. [Theoretical foundations of industrial machines designing in chemical technology on the basis of the dual physical and mathematical modeling]. Kazan: Kazan. state. tehnol. univ., 2009. 452 p.

6. Dyakonov S.G., Elizarov V.V., Laptev A.G. Teoretichеskie osnovy i modelirovanie protsessov razdeleniya veschestv [Theoretical foundations and simulation of substances separation]. Kazan: Publishing House of Kazan. Univ., 1993. 438 p.

7. Kagan A.M., Laptev A.G., Pushnov A.S., Farakhov M.I. Kontaktnye nasadki promyshlennykh teplomassoobmennykh apparatov [Contact nozzle of industrial heat and mass transfer devices]. Kazan: Fatherland, 2013. 454 p.

8. Kapustin V.M. Khimagregaty, 2013, no. 4, pp. 12–16.

9. Laptev A.G. Modeli pogranichnogo sloya i raschet teplomassoobmennykh protsessov. [Boundary-layer model and calculation of heat and mass transfer processes]. Kazan: Publishing House of Kazan. univ., 2007. 500 p.

10. Laptev A.G., Nikolaev N.A. Basharov M.M. Metody intensifikatsii I modelirovaniya teplomassoobmennykh protsessov [Intensification methods and modeling of heat and mass transfer processes]. Kazan: Heating engineer, 2011. 285 p.

11. Laptev A.G., Silov I.Yu., Dolgov A.N., Farakhov M.M. Energosberezhenie i vodopodgotovka, 2013, no. 2 (82), pp. 12–14.

12. Laptev AG, Farakhov M.I., Basharov M.M. Khimicheskoe neftegazovoe mashinostroenie, 2014, no. 8, pp. 27–30.

13. Laptev A.G., Farakhov M.I., Mineev N.G. Vestnik Kazan. Tekhnolog. Univ., 2011, no.2 (9), pp. 150–158.

14. Laptev A.G., Farakhov M.I., Mineev N.G. Osnovy rascheta I modernizatsiya teplomassoobnennykh ustanovok v neftekhimii [Calculation and modernization foundations of heat and mass transfer installations in the petrochemical industry]. Kazan: Kazan. State power engin. univ., 2010. 574 p.

15. The Ministry of Energy of the Russian Federation. [Electronic resource] URL: http://www.minenergo.gov.ru.

16. Project: Energy Efficient Russia. [Electronic resource] URL: http: // www.energy2020.ru/energy_russia/about.

17. Sarkisov P.D. Khimicheskaya promyshlennost, 2008, no. 11, pp. 14–17.

18. Sokol B.A., Chernyshev A.K., Baranova D.A. Nasadki massoobmennykh kolonn [Nozzles of mass transfer columns]. M .: Galileo-print, 2009. 358 p.

19. Farakhov M.I., Laptev A.G. Vestnik Kazan. Tekhnolog. Univ., 2011, no. 9, pp. 152–158.

20. Energy efficiency and competitiveness of the Russian economy. [Electronic resource] URL: http: //www. abaut. ru / what_we_do/drecnenergy/energoeffect/economy.

Рецензенты:

Зиннатуллин Н.Х., д.т.н., профессор кафедры «Процессы и аппараты химической технологии», ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань;

Гурьянов А.И., д.т.н., профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий», ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 004.67

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Марухина О.В., Мокина Е.Е., Берестнева Е.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: Marukhina@tpu.ru

В настоящее время ожирение является одним из самых распространенных хронических заболеваний, по данным Всемирной организации здравоохранения (World Health Organization) к началу XXI века избыточную массу имело около 30% населения планеты. В том числе, ожирение у детей и подростков является одной из актуальных проблем современного здравоохранения. Детское ожирение является фактором, обуславливающим более высокую вероятность ожирения, преждевременной смерти и инвалидности во взрослом возрасте. Накопленные в архивах медицинские данные актуальны для изучения механизмов ожирения среди детского населения, поскольку содержат огромный запас информации, сведений о различных случаях заболеваний, ходе и тяжести лечения, значения разнообразных клинических и лабораторных показателей. По результатам диспансеризации в Томской области каждый 15-й ребенок страдает ожирением. Решением проблемы заболевания ожирением может являться анализ клинико-лабораторных показателей, отражающих состояние и клиническую картину детей и нахождение закономерностей, помогающих корректировать лечение. В статье рассмотрены вопросы применения методов Data Mining в задачах медицинских исследований. Рассмотрено применение кластер-анализа в задаче выявления закономерностей (определение групп детей, имеющих схожий результат лечения) после проведения лечения. Полученный результат даст возможность правильно выбрать процедуру лечения для вновь поступивших пациентов.

Ключевые слова: многомерные данные, data mining, скрытые закономерности

USING DATA MINING FOR REVEALING HIDDEN REGULARITIES IN THE TASK OF ANALYZING MEDICAL DATA

Marukhina O.V., Mokina E.E., Berestneva E.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: Marukhina@tpu.ru

Currently, obesity is one of the most common chronic diseases, according to the World Health Organization (World Health Organization) to the beginning of the XXI century overweight had about 30% of the world population. In particular, obesity in children and adolescents is one of the urgent problems of modern health care. Childhood obesity is a factor that contributes to a higher likelihood of obesity, premature death and disability in adulthood. Accumulated in the archives of medical data relevant to the study of the mechanisms of obesity among children, because they contain a huge stock of information, information about various cases of diseases, the course and severity of the treatment, the values of a variety of clinical and laboratory parameters. According to the results of the clinical examination in the Tomsk region every 15 children is obese. Solution to the problem of the disease of obesity may be the analysis of clinical and laboratory parameters, reflecting the state and the clinical picture of children and finding regularities to help adjust the treatment. The article discusses the use of Data Mining methods in problems of medical research. The application of cluster analysis to identify patterns of problem (definition of groups of children with similar results of treatment) after treatment. This result will provide an opportunity to choose the right procedure for the treatment of newly admitted patients.

Keywords: multidimensional data, data mining, hidden patterns

Архивы медицинских данных, находящиеся в распоряжении различных медицинских учреждений, содержат огромный запас сведений о различных случаях каждого конкретного заболевания. Извлечение «скрытых» закономерностей из массива данных – одна из задач многих исследований медицинской тематики. Для решения таких задач применяются методы автоматического анализа, при помощи которых приходится практически добывать знания из «завалов» информации.

Термин Data Mining часто переводится как добыча данных, раскопка данных или «извлечение зерен знаний из гор данных». Технологию Data Mining достаточно точно определяет один из основателей этого направления Григорий Пиатецкий-Шапиро: «Data Mining – это процесс обнаружения в сырых данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности» [1].

Data Mining – совокупность различных методов обнаружения знаний. Выбор метода часто зависит от типа имеющихся данных и от того, какую информацию необходимо получить. Вот некоторые из них: классификация, кластеризация, ассоциация (объединение), анализ временных рядов, нейронные сети, прогнозирование и анализ временных рядов и т.д.

Технология Data Mining применяется практически везде, где возникает задача

автоматического анализа данных. Основные сферы применения технологии Data Mining: наука, бизнес, исследования для правительства и Web-направление. Широкое распространение эти методы получили также в медицинских исследованиях.

Известно много экспертных систем для постановки медицинских диагнозов. Они построены главным образом на основе правил, описывающих сочетания симптомов различных заболеваний. С помощью таких правил узнают не только, чем болен пациент, но и как его нужно лечить [1]. Правила помогают выбирать средства медикаментозного воздействия, определять показания (противопоказания), ориентироваться в лечебных процедурах, создавать условия наиболее эффективного лечения, предсказывать исходы назначенного курса лечения, изучать причины и механизмы возникновения различных патологий, исследовать эффективность хирургического вмешательства и т.п. Технология Data Mining позволяет обнаруживать в медицинских данных шаблоны, которые составляют основу указанных правил.

Метод Data Mining в медицинских исследованиях применяли разные авторы: Гудинова Ж.В. Применение Data Mining (Обнаружение полезных знаний в базах данных) как основа исследований и управления в сфере охраны здоровья населения и среды обитания [5]; А.В. Кузнецова, О.В. Сенько, Возможности использования методов Data Mining при медико-лабораторных исследованиях для выявления закономерностей в массивах данных [6]; Дзюра А.Е., Берестнева Е.В. Применение Data Mining в медико-психологических исследованиях [7].

Поиск скрытых закономерностей в медицинских данных. Исходный массив данных нашей задачи – матрица значений медицинских показателей, сформированная в НИИ курортологии г. Томска (рис. 1). Объекты исследования – дети, страдающие разной формой ожирения. Цель нашего исследования – выявление закономерностей (определение групп детей, имеющих схожий результат лечения) после проведения лечения.

В настоящее время на рынке программного обеспечения существует огромное разнообразие программных продуктов, реализующих самый разнообразный спектр методов Data Mining. Разработчики универсальных статистических пакетов, в дополнение к традиционным методам статистического анализа, включают в пакет определенный набор методов Data Mining. Это такие пакеты, как SPSS(SPSS, Clementine), Statistica (StatSoft), SAS Institute (SAS Enterprise Miner). Некоторые разработчики OLAP-решений также предлагают набор методов Data Mining, например семейство продуктов Cognos. Есть поставщики, включающие Data Mining решения в функциональность СУБД: это Microsoft (Microsoft SQL Server), Oracle, IBM (IBM Intelligent Miner for Data).

Для реализации поставленной задачи был использован достаточно популярный пакет Statistica, разработчиком которого является компания StatSoft. Компанией StatSoft была разработана целая система Statistica Data Miner, реализующая технологию Data Mining [3, 5]. Данная система спроектирована и реализована как универсальное всестороннее средство анализа данных (от взаимодействия с различными базами данных до создания готовых отчетов), реализующее так называемый графически-ориентированный подход. Система Statistica Data Miner подходит для выявления скрытых правил и закономерностей, проведения углубленных исследований, где «не работают» классические методы математической статистики. Авторами разработан алгоритм выявления скрытых закономерностей, схема которого представлена на рис. 2. Алгоритм был апробирован при решении подобных прикладных исследовательских задач [2]. Исходный массив данных задачи, представленной в данной статье, – матрица значений X_{nm} медицинских показателей, сформированная в НИИ курортологии г. Томска (n – количество пациентов ($n = 269$); m – число медицинских показателей ($m = 111$).

Рис. 1. Группы медицинских показателей

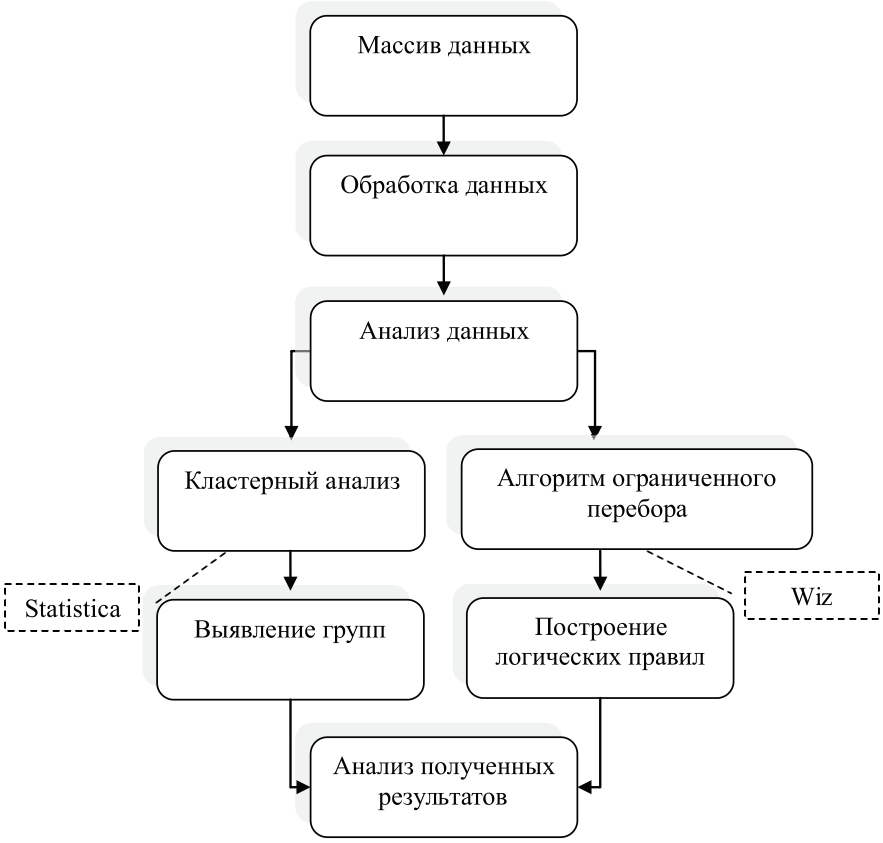


Рис. 2. Схема алгоритма выявления скрытых закономерностей

	ANOVA for continuous variables (Копия ожирение Number of clusters: 3 Total number of training cases: 104					
	Between SS	df	Within SS	df	F	p value
степень ожирения	355,681	2	34,5500	101	519,8806	0,000000
ОТ пл-дл	711,533	2	469,0973	101	76,5990	0,000000
ОБ пл-дл	657,269	2	319,9028	101	103,7568	0,000000
Масса пл-дл	764,623	2	148,1127	101	260,7031	0,000000
Избыток пл-дл	2870,852	2	368,3402	101	393,5981	0,000000
ИМТ пл-дл	107,774	2	127,4182	101	42,7145	0,000000

Рис. 3. Результат дисперсионного анализа

Метод кластерного анализа [1, 4] позволяет разбивать множества исследуемых объектов и признаков на однородные группы (кластеры). Для реализации процедуры кластерного анализа существует несколько методов, авторами был использован наиболее распространенный метод k-средних, целью которого является разбиение объектов на k кластеров.

Принципиальное отличие метода k-средних от иерархического кластер-анализа заключается в том, что исследователю необходимо изначально определить число кластеров, на которое требуется разбить изучаемую совокупность. Соответственно, желательно еще до начала анализа иметь гипотезу о структуре исследуемой совокупности. Авторы статьи проводили кластер-анализ для $k = 3$, 4, 5. Анализ результатов специалистами НИИ курортологии показал, что наилучший результат показывает кластер-анализ при $k = 3$.

В дисперсионном анализе межгрупповая дисперсия сравнивается с внутригрупповой дисперсией для принятия решения, являются ли средние для отдельных переменных в разных совокупностях значимо различными. Исходя из уровней значимости (p-value), все выбранные авторами переменные являются значимыми при решении задачи о распределении объектов по кластерам (рис. 3).

Одним из способов определения кластеров является проверка средних значений для каждого кластера и для каждого измерения (рис. 4).

Анализируя график, можно сделать вывод, что пациенты, входящие в Cluster 3, получили лучшие результаты при лечении. Это показывают переменные: масса тела, избыток массы тела (%) и индекс массы тела.

В таблице на рис. 5 представлены объекты, входящие в кластер 3. В основном это пациенты с 3 и более степенью ожирения. Столбцы со значениями указывают на то, каких они достигли результатов при лечении.

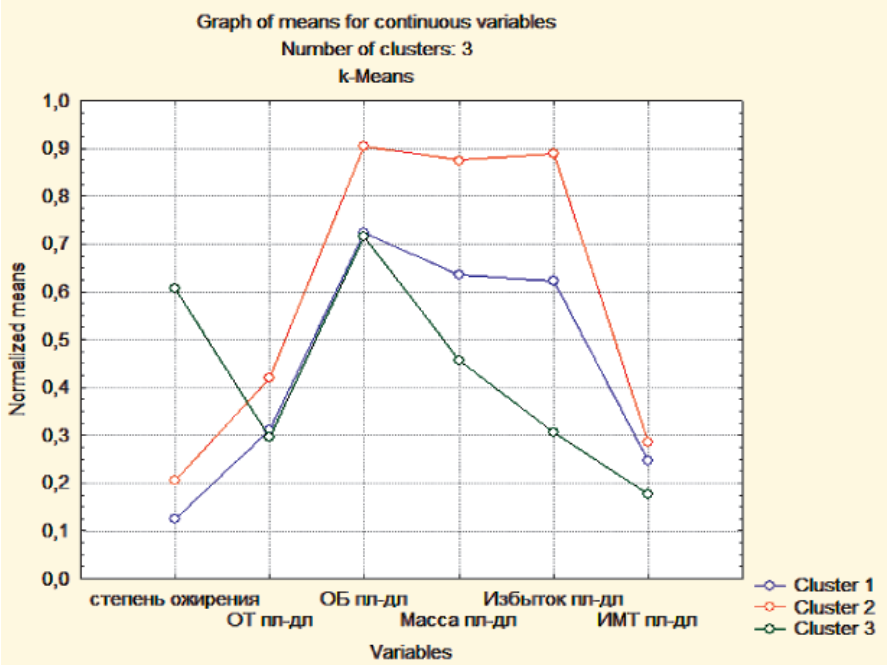


Рис. 4. График средних значений кластеров

Cluster members for cluster: 3 (Копия ожирение для матем с обозначениями)
Number of cases: 22

Case No.	степень ожирения	ОТ пл-дл	ОБ пл-дл	Масса пл-дл	Избыток пл-дл	ИМТ пл-дл	Distance to centroid
51	3,000000	-5,00000	-2,0000	-5,50000	-12,2000	-2,30000	0,324861
93	3,000000	-2,00000	-2,0000	-4,00000	-8,0000	-1,20000	0,169081
106	3,000000	-2,00000	-3,0000	-2,00000	-4,0000	-0,80000	0,486277
161	3,000000	-1,00000	-2,0000	-4,00000	-7,8000	-1,70000	0,199575
165	2,000000	-5,00000	-1,0000	-4,00000	-8,1000	-1,75000	0,353308
167	2,000000	-5,00000	-6,0000	-7,00000	-11,1000	-2,70000	0,539857
168	3,000000	0,00000	-11,0000	-8,00000	-12,1000	-2,80000	0,903876
177	2,000000	-7,00000	-4,0000	-6,50000	-9,5000	-1,50000	0,438983
178	2,000000	-6,00000	0,0000	-3,30000	-8,6500	-1,60000	0,434625
179	3,000000	-5,00000	-6,0000	-4,00000	-12,7000	-1,80000	0,399184
180	3,000000	-9,00000	-1,0000	-8,00000	-12,0000	-2,70000	0,627187
187	4,000000	0,00000	0,0000	-1,00000	-3,0000	-0,20000	0,806808
190	3,000000	-3,00000	0,0000	-4,00000	-13,0000	-2,20000	0,425255
198	3,000000	-6,00000	-5,0000	-1,15000	-9,2000	-0,50000	0,452387
203	3,000000	-3,00000	-5,0000	-4,10000	-7,1000	-2,10000	0,234156
208	3,000000	-2,00000	-5,0000	-3,10000	-6,0000	-1,80000	0,332121
209	3,000000	-1,00000	-2,0000	-3,00000	-6,0000	-1,00000	0,331586
220	3,000000	-7,00000	-7,0000	-6,10000	-13,0000	-4,10000	0,581273
224	2,000000	-2,00000	-2,0000	-4,00000	-9,5000	-1,60000	0,305314
242	2,000000	0,00000	-1,0000	-4,00000	-9,5000	-1,80000	0,383122
243	3,000000	-2,00000	-2,0000	-4,00000	-5,5000	-1,30000	0,305722
259	4,000000	-2,00000	-2,0000	-3,00000	-10,0000	-1,60000	0,448391

Рис. 5. Объекты кластера 3

Алгоритм ограниченного перебора. С целью обработки клинико-лабораторных показателей авторами был использован алгоритм ограниченного перебора (с применением пакета Wiz Why). Поиск логических правил осуществлялся для клинико-лабораторных показателей до лечения, так и для значения разности показателей до лечения и после лечения. В частности, были получены правила, характеризующие показатели пациентов до лечения к индексу массы тела после лечения. Эти правила позволяют понять, на каких пациентов и с какими признаками лечение подействовало эффективнее.

Для пояснения полученных правил, наиболее подробно рассмотрено правило № 5:

If IgM do is 0,80 ... 2,10 (average = 1,43)
and Lizocim do is 36,00
Then
IMT p-do is not more than -1,08
Rule's probability: 0,909
The rule exists in 10 records.
Significance Level: Error probability < 0,01

Это правило представляет собой конъюнкцию двух высказываний:

If IgM do is 0,80 ... 2,10 (average = 1,43) – если концентрация иммуноглубина М до лечения от 0,80 до 2,10, и Lizocim do is 36,00 активность лизоцима в сыворотке крови до лечения равняется 36, то IMT p-do индекс массы тела в результате проведенного лечения уменьшается более чем на 1,08.

Запись Rule's probability: 0,909 означает точность правила в данном случае равной 0,909. Следующая запись The rule exists in 10 records характеризует множество объектов, для котрых справедливо рассматриваемое правило, а запись Significance Level: Error probability < 0,01 касается статистической оценки уровня значимости.

В системе предусмотрена визуализация любого правила. Для этого надо позиционировать курсор на одном из его условий и щелчком правой кнопки мыши вызвать контексное меню, где выбрать «Rule Chart…». В окне отобразится диаграмма, иллюстрирующая отдельные компоненты правила (рис. 6).

Левая часть окна содержит правило в текстовом режиме. Правая часть – визуализация правила. Зеленая полоса показывает долю объектов, обладающих целевым значением, красная полоса иллюстрирует пропущенные объекты, белые разделы – другие объекты в этом поле. Длина полосы соответствует доле таких объектов.

Оценить информативность признака можно при помощи таблицы «Field Index», где перечисляются признаки, участвующие в полученных правилах, и приводится список их номеров. Анализируя табл. 1, можно сказать, что показатели: DV.PR. do, OXC do, TTG(0,23-3,4) do имеют наибольшее значение при выявлении закономерностей, а в табл. 2 показатели: DV.PR.p-do, CIK p-do, Kortizol p-do, OL p-do.

На основе анализа логических правил, представленных в приложении В, можно сделать вывод о том, что уменьшение или увеличение определенных значений показателей способствует лучшему результату при проведении лечения и наоборот, улучшение в лечении не наблюдается или наблюдается, но незначительное.

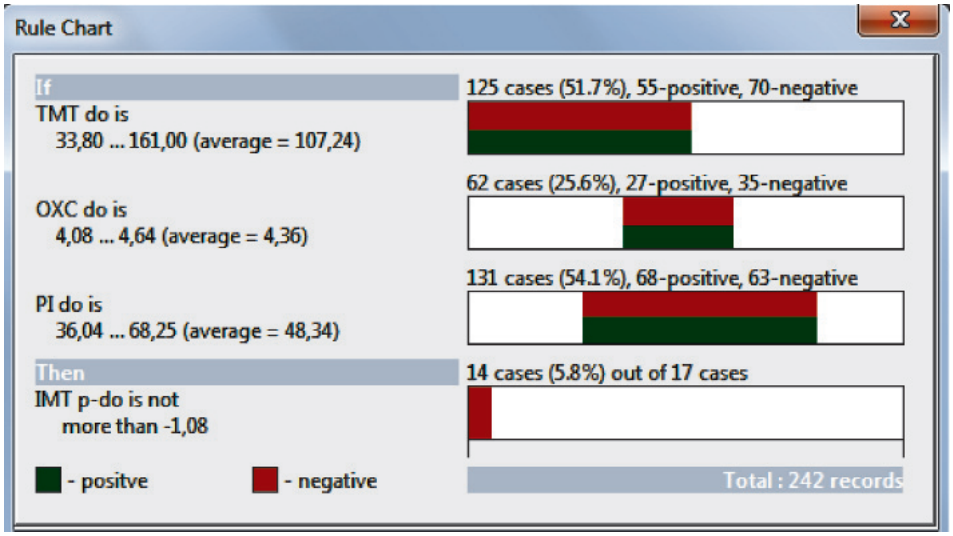


Рис. 6. Диаграмма правила

Таблица 1

Field Index (до лечения)

Field	Rule
DV.PR. do	2, 10, 12, 15, 21
FNO (ne > 2,5 pg/ml) do	13, 14
IA do	1, 6, 17, 20
IgM do	2, 5, 21
Kortizol do	1, 12, 14, 18
LPNP do	3
Lizocim do	5, 9, 13, 15
OXC do	3, 4, 11, 16, 19
PI do	4, 6
TAG do	7, 19, 20, 21
TMT do	1, 4, 6
TTG(0,23-3,4) do	2, 3, 7, 8, 10, 12

Таблица 2

Field Index (после лечения)

Field	Rule
APF p-do	2, 5, 28, 29, 33, 50, 65, 69, 70
CIK p-do	15, 20, 21, 31, 32, 34, 37, 41, 42, 47, 54, 57, 63, 64, 68, 69, 73
DAD p-do	1, 2, 6, 8, 13, 17, 19, 23, 26, 46,53, 59
DV.PR.p-do	9, 10, 12, 17, 22, 23, 24, 30, 31, 36, 39, 40, 48, 49, 54, 61, 62, 63, 69, 71, 72,
FNO p-do	43, 61, 62
IgG p-do	2, 5, 19, 20, 21, 30, 31, 32, 46, 52
IgM p-do	27
Insylin p-do	11, 13, 15, 16, 19, 28, 29, 33, 68
Kortizol p-do	4, 7, 8, 9, 18, 28, 29, 33, 39, 40, 47, 48, 49, 52, 54, 57, 60, 73, 74
LPONP p-do	21, 29, 40, 42, 45, 49, 56, 62, 67, 72
Lizocim p-do	37, 41, 42, 54, 63, 64, 73, 74
MG p-do	3, 10, 17, 24
NOMA p-do	14, 34, 37, 46, 53, 58, 59, 60, 70, 71, 72
OL p-do	4, 14, 18, 20, 21, 27, 30, 32, 35, 38, 41, 42, 48, 49, 50, 51, 59, 61, 62, 63, 71, 72, 74
OXC p-do	25, 26, 35
PI p-do	16, 36, 39, 40, 53, 58, 60, 64, 66, 67
SAD p-do	1, 10, 12, 25, 44, 45, 58, 70
T syp p-do	18, 19, 46, 51, 57, 64
TAG p-do	20, 28, 39, 41, 44, 48, 55, 61, 66, 71
TFN p-do	34, 37, 47, 52, 53, 58, 59, 60, 68, 70,73

Правило № 2:

If **DAD p-do** *is* **-12,00 ... 0,00** (average = **-4,58**)
and **IgG p-do** *is* **-21,00 ... -0,80** (average = **-5,20**)
and **APF p-do** *is* **-26,67 ... -9,40** (average = **-16,23**)
Then
IMT p-do *is not* ***more than* -1,08**
Rule's probability: **1,000**
The rule exists in **12** *records.*
Significance Level: Error probability < 0,0001

Из анализа правила № 2 следует, что снижение диастолического артериального давления, иммуноглобубина G и ангиотензинпревращающего фермента в сыворотке крови, способствует лучшему похудению пациентов, индекс массы тела уменьшается более чем на 1,08, достоверность 100 %.

Заключение

Результатом выявления скрытых закономерностей для данных поставленной задачи является в дальнейшем корректировка траектории лечения детей с различными степенями ожирения в НИИ курортологии г. Томска. В частности, полученные знания о результатах лечения в каждой такой группе дадут возможность правильно выбрать процедуру лечения для поступивших пациентов. Разработанный авторами алгоритм выявления скрытых закономерностей будет входить в состав информационной системы, разрабатываемой в рамках выполнения проекта РФФИ № 14-07-00675.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 14-07-00675.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 471 с.

2. Берестнева О.Г., Пеккер Я.С. Выявление скрытых закономерностей в сложных системах // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2009. – Т. 315, № 5. – С. 138–143.

3. Бурева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «Statistica»: учебно-методический материал по программе повышения классификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». – Нижний Новгород, 2007. – 112 с.

4. Дюк В., Самойленко А. Data Minning: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 386 с.

5. Чубукова И.А. Data Mining: учебное пособие. – Интернет – университет информационных технологий: БИНОМ: Лаборатория Знаний, 2006. – 382 с.

References

1. Ajvazjan S.A., Buhshtaber V.M., Enjukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaja statistika. Klassifikacija i snizhenie razmernosti. M.: Finansy i statistika, 1989. 471 p.

2. Berestneva O.G., Pekker Ja.S. Vyjavlenie skrytyh zakonomernostej v slozhnyh sistemah // Izv. Tom. politehn. un-ta. 2009. T. 315, no. 5. pp. 138–143.

3. Bureva N.N. Mnogomernyj statisticheskij analiz s ispol'zovaniem PPP «Statistica»: uchebno-metodicheskij material po programme povyshenija klassifikacii «Primenenie programmnyh sredstv v nauchnyh issledovanijah i prepodavanii matematiki i mehaniki». – Nizhnij Novgorod, 2007. 112 p.

4. Djuk V., Samojlenko A. Data Minning: uchebnyj kurs. SPb.: Piter, 2001. 386 p.

5. Chubukova I.A. Data Mining: uchebnoe posobie. – Internet – universitet informacionnyh tehnologij: BINOM: Laboratorija Znanij, 2006. 382 p.

Рецензенты:

Уразаев А.М., д.б.н., профессор, Институт теории образования, ФГБОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет», г. Томск;

Мещеряков Р.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой безопасности информационных систем, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 12.02.2015.

УДК 656.02+351.811.12

МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПО ПОЛОСАМ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В СЛУЧАЕ ЗАПРЕЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО ЕЕ ОТДЕЛЬНЫМ УЧАСТКАМ

Наумова Н.А.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, Краснодар, e-mail: Nataly_Naumova@mail.ru

Оперативное определение оптимальных маршрутов объезда наиболее загруженных участков позволяет снизить транспортные затраты отдельных участников движения и более равномерно распределить транспортные потоки по сети. Разработанная автором модель позволяет прогнозировать эффект от тех или иных реорганизаций схемы движения транспортных средств без проведения дополнительного сбора исходных данных в режиме реального времени. Разработан алгоритм решения одной из таких задач: перераспределение транспортных потоков в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети. Приведен пример решения практической задачи о выделении отдельной полосы для общественного транспорта в городе Краснодаре с применением разработанного алгоритма. При решении задачи применялся интегрированный критерий, так как оптимизация одних показателей эффективности влечет изменение других показателей качества организации движения.

Ключевые слова: транспортные потоки, функция транспортных затрат, организация движения, оптимизация

THE METHOD OF CALCULATING THE DISTRIBUTION OF TRAFFIC FLOWS ALONG THE LANES OF THE ROAD NETWORK IN THE CASE OF THE PROHIBITION MOVEMENT IN LOCAL AREAS

Naumova N.A.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: Nataly_Naumova@mail.ru

Operational definition of optimal routes bypass the most congested areas can reduce travel costs of individual traffic participants. In addition this may help to more evenly distribute traffic flows across the network. The author ‘s model may predict the effect of reorganizations traffic patterns of vehicles without additional baseline data collection in real-time. The algorithm for solving such problems as the redistribution of traffic flows in the event of a temporary closure or liquidation of any element of the transport network was developed. The example of solving practical problems of allocating of separate lanes for public transport in the city of Krasnodar with application of the developed algorithm was given. The integrated criterion was applied for the solution of this problem, as the optimization of some performance indicators entails changes in other indicators of quality traffic.

Keywords: traffic flows, the function of transport costs, traffic management, optimization

В настоящее время уже не требует доказательств тот факт, что применение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет значительно увеличить эффективность распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети [2, 3]. Своевременное информирование участников движения о степени загрузки тех или иных локальных участков сети, оперативное определение оптимальных маршрутов объезда наиболее загруженных участков позволяет снизить транспортные затраты отдельных участников движения и более равномерно распределить транспортные потоки по сети.

Автором ранее [4, 6] была разработана мезоскопическая математическая модель распределения транспортных потоков, базирующаяся на гипотезе о распределении интервалов по времени между транспортными средствами по обобщенному закону Эрланга, построенная на принципе транспортного (потокового) равновесия [1]. Отличительной особенностью модели является то, что она позволяет описывать потоки достаточно высокой плотности. При этом функция транспортных затрат выражена в явном виде, что позволяет определять показатели эффективности организации движения без применения имитационного моделирования. Кроме того, структура модели позволяет прогнозировать эффект от тех или иных реорганизаций без проведения дополнительного сбора исходных данных в режиме реального времени.

Так, например, в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети достаточно ввести необходимые изменения в матричное представление улично-дорожной сети $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$ [7], исключающие данный участок из рассмотрения. С этой целью

интенсивность движения по ликвидированным дугам принимается равной нулю, а также в матрицах $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$ в соответствующих ячейках запрещаются повороты на ликвидированные дуги. Далее возможны два варианта:

– *пользовательский оптимум* – с учетом равновесного распределения потоков проводится перераспределение корреспонденций по оптимальным маршрутам;

– *директивный метод* – экспертами определяются возможные варианты объезда закрытого участка, для каждого варианта рассчитывается интегрированный критерий $K = \sum_i \alpha_i \frac{K_i}{(K_i)_0}$, учитывающий влияние этого варианта объезда на улично-дорожную сеть; выбирается вариант, отвечающий условию $K \to \min$.

Алгоритм перераспределения транспортных потоков в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной сети

1-й шаг. Вносим изменения в матрицы $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$, означающие ликвидацию указанных дуг из улично-дорожной сети.

2-й шаг. Определяем пары «источник – сток» и интенсивность транспортных потоков между ними, высвободившуюся в связи с ликвидацией участка сети.

3-й шаг. Выбираем вариант перераспределения транспортных потоков между определенными в пункте 2 парами «источник – сток»:

а) пользовательский оптимум;

б) директивный метод.

4-й шаг. Если выбран вариант (а), то проводим расчет перераспределения интенсивности согласно алгоритму, изложенному в статье [5];

если выбран вариант (б), то группа экспертов определяет варианты объезда ликвидированного участка сети для каждой из пар «источник – сток», выявленных в пункте 2 настоящего алгоритма;

4.1) для каждого варианта вводятся изменения в матрицы $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$;

4.2) автоматически рассчитываются показатели: K_1 – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС; K_i – среднее время движения между каждой парой «источник – сток», выявленной в пункте 2 алгоритма;

4.3) рассчитывается критерий $K = \sum_i \alpha_i \frac{K_i}{(K_i)_0}$ при заданных экспертами уровнях значимости показателей;

4.4) оптимальный вариант выбирается из условия $K \to \min$.

5-й шаг. Вводятся окончательные изменения в матрицы $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$, отвечающие оптимальному варианту.

Применение алгоритма к решению задачи о целесообразности выделения отдельной полосы для движения общественного транспорта на участке улично-дорожной сети

Разработанный аналитический аппарат позволяет решать такие задачи в рамках всей улично-дорожной сети, как определение целесообразности проведения тех или иных мероприятий по реорганизации дорожного движения. Рассмотрим в качестве примера одну из таких задач, актуальную в настоящее время: определить целесообразность выделения отдельной полосы для движения общественного транспорта в г. Краснодар по улице 40 лет Победы в обоих направлениях между перекрестками улиц ***40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская*** (рисунок)**.** Исходные данные для расчетов по данным мониторинга предварительно вносим в базы данных $A_{STREETS}$ и $B_{INTERSECTION}$.

В данном случае оптимизация одних показателей эффективности влечет изменение других показателей качества организации движения. Поэтому для проверки целесообразности выделения специальной полосы для движения общественного транспорта будет рассчитываться интегрированный критерий

$$K = \alpha_1 \cdot \frac{K_1}{(K_1)_0} + \alpha_2 \cdot \frac{K_2}{(K_2)_0} + \alpha_3 \cdot \frac{K_3}{(K_3)_0}, \quad (1)$$

где K_1 – среднее время (в часах) движения между перекрестками улиц ***40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская*** общественного транспорта (без учета остановок для посадки-высадки пассажиров); $(K_1)_0$ – среднее время (в часах) движения между перекрестками улиц ***40 лет Победы – Колхозная и 40 лет Победы – Российская*** общественного транспорта при текущей схеме организации движения;

K_2 – среднее время (в часах) движения от перекрестка улиц ***40 лет Победы – Колхозная*** до перекрестка улиц ***40 лет Победы – Российская*** других видов транспорта; $(K_2)_0$ – среднее время (в часах) движения от перекрестка улиц ***40 лет Победы – Колхозная*** до перекрестка улиц ***40 лет Победы – Российская*** других видов транспорта при текущей схеме организации движения;

K_3 – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС.;

$(K_3)_0$ – суммарные потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при текущей схеме организации движения.

Уровни значимости определяются таким образом, чтобы выполнялось условие: $\sum_{i=1}^{3}\alpha_i = 1$. При решении поставленной задачи особое значение уделяется времени движения общественного транспорта, поэтому примем $\alpha_1 = 0{,}7$, $\alpha_2 = 0{,}15$, $\alpha_3 = 0{,}15$.

Проведение мероприятий по реорганизации движения *целесообразно* при значении критерия $K < 1$. Эффективность мероприятий тем выше, чем меньше значение критерия.

Расчеты, необходимые для определения параметра K_3, занесены в табл. 1.

Участок улично-дорожной сети г. Краснодара

Таблица 1

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при текущей схеме организации движения

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	6, 32
40 лет Победы	Юннатов	11,0
40 лет Победы	Выставочная	0,33
40 лет Победы	Московская	6,67
40 лет Победы	Чернышевского	17,8
40 лет Победы	Некрасова	0,3
40 лет Победы	Российская	9,33
Колхозная	Серова	0,19
Гражданская	Юннатов	2,29
Колхозная	Садовая	3,03
Ипподромная	Крупской	0,41
Ипподромная	Передовая	3,9
Первомайская	Чернышевского	0,9
Первомайская	Некрасова	0,15
Первомайская	Российская	1,65

Значение показателя $K_1 = (K_1)_0 = 01142$ ч.

Значение показателя $K_2 = (K_2)_0 = 0{,}1142$ ч.

Значение показателя $K_3 = (K_3)_0 = 64{,}27$ авт./ч.

Значение критерия

$$K = 0{,}7 \cdot \frac{0{,}1142}{0{,}1142} + 0{,}15 \cdot \frac{0{,}1142}{0{,}1142} + 0{,}15 \cdot \frac{64{,}27}{64{,}27} = 1$$

Доля общественного транспорта в каждом из направлений движения составляет в среднем 20%. При выделении для общественного транспорта отдельной полосы по ул. ***40 лет Победы*** пересчитаем интенсивность в каждом направлении движения с учетом этого по следующим формулам:

$$N_r = 0{,}2 \cdot (N_1 + N_2);$$

$$N_l = 0{,}8 \cdot (N_1 + N_2), \qquad (2)$$

где N_1, N_2 – интенсивности по полосам при фактической организации движения, авт./ч; N_r – интенсивность движения по полосе для общественного транспорта, авт./ч; N_l – интенсивность по полосе для личного автотранспорта, авт./ч.

Расчеты, необходимые для определения параметра K_3, в этом случае приведены в табл. 2.

Значение показателя $K_1 = 0{,}1035$ ч.

Значение показателя $K_2 = 0{,}1736$ ч.

Значение показателя $K_3 = 85{,}58$ авт./ч.

Значение критерия:

$$K = 0{,}7 \cdot \frac{0{,}1035}{0{,}1142} + 0{,}15 \cdot \frac{0{,}1736}{0{,}1142} +$$

$$+ 0{,}15 \cdot \frac{85{,}58}{64{,}27} = 1{,}062$$

Следовательно, выделение отдельной полосы для общественного транспорта нецелесообразно.

Рассчитаем критерий в случае, если 15% личного автотранспорта перенаправить по альтернативному (более длинному) маршруту от ***40 лет Победы*** по улицам ***Колхозная – Садовая – МОПР – Спортивная – Ипподромная – Первомайская – Российская – 40 лет Победы*** (табл. 3). Другие альтернативные маршруты между указанной парой ***40 лет Победы – Колхозная*** и ***40 лет Победы – Российская***, позволяющие полностью исключить проезд по перегруженной улице ***40 лет Победы,*** отсутствуют.

Значение показателя $K_1 = 0{,}1035$ ч.

Значение показателя

$$K_2 = 0{,}85 \cdot 0{,}1583 + 0{,}15 \cdot 0{,}2282 = 0{,}1688 \text{ ч.}$$

Значение показателя $K_3 = 80{,}61$ авт./ч.

Значение критерия

$$K = 0{,}7 \cdot \frac{0{,}1035}{0{,}1142} + 0{,}15 \cdot \frac{0{,}1688}{0{,}1142} +$$

$$+ 0{,}15 \cdot \frac{80{,}61}{64{,}27} = 1{,}044.$$

Таблица 2

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при выделении полосы для общественного транспорта

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	7,6
40 лет Победы	Юннатов	11,0 (пробка)
40 лет Победы	Выставочная	3,37
40 лет Победы	Московская	9,01
40 лет Победы	Чернышевского	17,8 (пробка)
40 лет Победы	Некрасова	11 (пробка)
40 лет Победы	Российская	13,28 (пробка)
Колхозная	Серова	0,19
Гражданская	Юннатов	2,29
Колхозная	Садовая	3,03
Ипподромная	Крупской	0,41
Ипподромная	Передовая	3,9
Первомайская	Чернышевского	4,32
Первомайская	Некрасова	0,17
Первомайская	Российская	1,65

Таблица 3

Потери времени за один час всеми транспортными средствами на перекрестках данного участка УДС при выделении полосы для общественного транспорта и перераспределении личного автотранспорта по альтернативному маршруту

Перекресток		Потери времени за 1 час, авт./ч
Улица 1	Улица 2	
40 лет Победы	Колхозная	6,37
40 лет Победы	Юннатов	11,0 (пробка)
40 лет Победы	Выставочная	1,55
40 лет Победы	Московская	7,62
40 лет Победы	Чернышевского	17,8 (пробка)
40 лет Победы	Некрасова	2,69
40 лет Победы	Российская	11,11
Колхозная	Серова	0,83
Гражданская	Юннатов	3,34
Колхозная	Садовая	4,49
Ипподромная	Крупской	0,66
Ипподромная	Передовая	4,77
Первомайская	Чернышевского	4,32
Первомайская	Некрасова	0,15
Первомайская	Российская	3,91

Следовательно, выделение отдельной полосы для общественного транспорта нецелесообразно без проведения реконструкции УДС для перераспределения личного автотранспорта.

Заключение

Решение рассмотренных практических задач следует четко разработанным алгоритмам, вследствие чего может быть полностью автоматизировано. Благодаря аналитическим методам расчета функции транспортных затрат в узлах улично-дорожной сети, решение приведенных выше задач с применением ЭВМ получается в режиме реального времени (в отличие от программ, применяющих имитационное моделирование). Этот факт отвечает требованиям, предъявляемым к системам ИТС. Детальное описание узлов сети в разработанной автором математической модели позволяет учитывать изменения в схеме организации движения, не выходя за рамки самой модели, без проведения дополнительного сбора информации. Вышеперечисленные факты позволяют не только повысить оперативность принятия решений, но и свести к минимуму трудозатраты, а следовательно, способствуют росту экономической эффективности при решении транспортных задач.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект р-юг-а-13-08-96502.

Список литературы

1. Гасников А.В. Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / под ред. А.В. Гасникова – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

2. Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. … д-ра техн. наук: 05.22.01. – М., 2012. – 450 с.

3. Зырянов В.В. Развитие систем управления транспортным процессом в городах // Комплексное решение территориальных проблем дорожного движения: сб. научн. трудов МАДИ. – М.: МАДИ, 1983. – С. 57–60.

4. Наумова Н.А. Метод определения функции транспортных затрат для узловой точки сети типа «нерегулируемое пересечение потоков требований» // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 4). – С. 717–722.

5. Наумова Н.А., Данович Л.М., Данович Ю.И. Алгоритм определения базы данных распределения интенсивностей транспортных потоков при введении в эксплуатацию

новых потокообразующих объектов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (ч. 2) – С. 273–276.

6. Natalya Naumova. The method of determining the function of traffic costs for the node with regulated flows of requests // Life Science Journal. – 2014. – № 11(11). – P. 321–327. – ISSN 1097 – 8135; E- ISSN 2372 – 613X.

7. Natalya Naumova, Larisa Danovich. A model of flows distribution in the network // Life Science Journal. – 2014. – № 11(6). – P. 591–597. – ISSN 1097 – 8135; E- ISSN 2372 – 613X.

References

1. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskij E.A., Holodov Ja.A., Shamraj N.B. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov: ucheb. posobie / Pod red. A.V. Gasnikova. M.: MFTI, 2010. – 362 p.

2. Zhankaziev S.V. Nauchnye osnovy i metodologija formirovanija intellektual'nyh transportnyh sistem v avtomobil'nodorozhnyh kompleksah gorodov i regionov: dis. … dokt. tehn. nauk: 05.22.01. M., 2012. 450 p.

3. Zyrjanov V.V. Razvitie sistem upravlenija transportnym processom v gorodah // Kompleksnoe reshenie territorial'nyh problem dorozhnogo dvizhenija: sb. nauchn. trudov MADI. M.: MADI, 1983. pp. 57–60.

4. Naumova N.A. Metod opredelenija funkcii transportnyh zatrat dlja uzlovoj tochki seti tipa «nereguliruemoe peresechenie potokov trebovanij» // Fundamental'nye issledovanija. no. 10 (chast' 4). 2013. pp. 717–722

5. Naumova N.A., Danovich L.M., Danovich Ju.I. Algoritm opredelenija bazy dannyh raspredelenija intensivnostej transportnyh potokov pri vvedenii v jekspluataciju novyh potokoobrazujushhih obektov // Fundamental'nye issledovanija. 2014. no. 9 (ch. 2) pp. 273–276.

6. Natalya Naumova. The method of determining the function of traffic costs for the node with regulated flows of requests // Life Science Journal,2014. no. 11(11). pp. 321–327. ISSN 1097 8135; E- ISSN 2372 613X.

7. Natalya Naumova , Larisa Danovich. A model of flows distribution in the network // Life Science Journal, 2014. no. 11(6). pp. 591–597. ISSN 1097 8135; E- ISSN 2372 613X.

Рецензенты:

Атрощенко В.А., д.т.н., профессор, декан факультета компьютерных технологий, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар;

Видовский Л.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет» Министерства образования и науки РФ, г. Краснодар.

Работа поступила в редакцию 13.02.2015.

УДК 678.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

[1]Осипов Ю.Р., [2]Шлыков С.А., [3]Осипов С.Ю.

[1]ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет», Вологда, e-mail: iur.osipov2011@yandex.ru;

[2]ФКОУ ВПО «Вологодский институт права и экономики» Федеральной службы исполнения наказаний, Вологда, e-mail: prep50@mail.ru;

[3]ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, e-mail: osipov_sergejj@rambler.ru

Предложен метод теплового расчета при эксплуатации анизотропных оболочек вращения. Представлены результаты стендовых испытаний. В расчетах и экспериментальных исследованиях учитывалось отсутствие и наличие на поверхности оболочек вращения специальных конструктивных элементов – интенсификаторов теплообмена. Рассмотрены вопросы эффективности применения интенсификаторов теплообмена, схемы интенсификации теплообмена в процессе эксплуатации оболочек вращения. Рассмотрены распределения плотности источников теплоты и температур по сечению контактной поверхности движущихся оболочек вращения. Исследован теплообмен движущейся анизотропной оболочки вращения в области контакта с опорной поверхностью с использованием и без использования интенсификаторов теплообмена. Изучены факторы, влияющие на теплообмен. Получены зависимости изменения температур от различных эксплуатационных характеристик. Обоснована эффективность применения интенсификаторов теплообмена при работе оболочек вращения.

Ключевые слова: температура, теплообразование, тепловое состояние, теплообмен, теплопроводность, тепловой поток, оболочка вращения, гетерогенные структуры, интенсификатор теплообмена

PROBE OF THE THERMAL CONDITION OF MANTLES OF ROTATION DURING THEIR WORK

[1]Osipov Y.R., [2]Shlykov S.A., [3]Osipov S.Y.

[1]Vologda State University, Vologda, e-mail: iur.osipov2011@yandex.ru;

[2]Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, e-mail: prep50@mail.ru;

[3]Tver State Technical University, Tver, e-mail: osipov_sergejj@rambler.ru

Method of thermal calculation of anisotropic shells of revolution. Presents the results of bench tests. Calculations and experimental studies have been conducted in the absence and in the presence on the surface of shells of revolution special structural elements of intensification of heat transfer. Solved the problem of effective use of intensifiers heat transfer. Shows the scheme of intensification of heat exchange in the process of operation of shells of revolution. Built density distribution of heat sources and temperature over the cross section of the contact surface of the moving shell rotation. Investigated the heat transfer of the moving shell of revolution in the area of contact with the supporting surface for the intensification of heat transfer. We have studied the factors affecting the heat transfer in accordance with changes of temperature from different operational characteristics. The use of intensifiers heat transfer for shells of revolution is very effective.

Keywords: temperature, the formation of heat, thermal state, heat transfer, the thermal conductivity, heat flow, shell of revolution, heterogeneous structure, intensifier heat transfer

Под оболочками вращения понимаются конструкции, поверхность приведения которых образована вращением произвольной кривой, заданной на плоскости дискретным набором точек, координаты которых содержат случайные погрешности измерения [2]. Оболочки вращения, представляющие собой гетерогенные структуры, образованные армирующими элементами и изотропным связующим, применяются в различных областях техники. Армирующие элементы определяют высокую прочность и жесткость конструкций, а связующие обеспечивают монолитность. Это обстоятельство определяет использование оболочек вращения в авиа-, автомобилестроении, химическом машиностроении и других отраслях техники. Эффективность применения оболочек вращения определяется степенью совершенства методов их расчета, проектирования и изготовления [2, 4, 6, 7]. Механические характеристики, обуславливаемые схемой расположения армирующих элементов, могут изменяться в широких пределах, что позволяет получать конструкции с направленной анизотропией механических свойств, соответствующих большому спектру действующих нагрузок. В работе рассмотрены методы расчета и проектирования армированных оболочек вращения без

интенсификаторов и с интенсификаторами теплообмена.

В процессе работы анизотропной оболочки вращения происходит её разогрев вследствие внутреннего трения, что влияет на срок её службы. Температура в элементах оболочки вращения зависит от конструктивных и эксплуатационных параметров: вязко-упругих и теплофизических свойств изотропного связующего (эластомера), армирующих элементов, толщины контактного слоя, скорости движения, вида и состояния опорной поверхности [1, 10]. Температуру оболочки вращения можно понизить, варьируя ее конструктивные и эксплуатационные характеристики, и для этого нужно знать зависимость температуры от перечисленных факторов, которая может быть получена в результате решения для нее уравнения теплопроводности.

Наиболее теплонапряженной областью движущейся оболочки вращения является зона контакта с опорной поверхностью. Для улучшения эксплуатационных характеристик контактная поверхность оболочки вращения оснащается металлическими конструктивными элементами – шипами, которые оказывают существенное влияние на её тепловой режим и, как показывают экспериментальные исследования, являются интенсификаторами теплообмена [3]. Они представляют собой металлические стержни, изготовленные из конструкционной стали. Оболочка вращения может содержать от нескольких десятков до 200 интенсификаторов в зависимости от её размеров и условий эксплуатации [7].

Распределение значений коэффициента теплоотдачи α по поверхности оболочки в зоне контакта с опорной поверхностью имеет сложный характер, причем на среднюю величину α влияет её скорость движения и частота вращения, а также наличие или отсутствие интенсификаторов теплообмена. Величина локальных коэффициентов теплоотдачи изменяется по ширине поперечного сечения оболочки.

Процесс теплообмена в зоне контакта оболочки вращения с опорной поверхностью описывается критериальной зависимостью вида

$$Nu = C \cdot \mathrm{Re}^n$$

где $Nu = \dfrac{\alpha_{ср} \cdot R}{\lambda}$ – критерий Нуссельта; $\mathrm{Re} = \dfrac{V \cdot R}{\nu}$ – критерий Рейнольдса; C и n – постоянные; R – радиус оболочки вращения по центру контактной поверхности; $\alpha_{ср}$ – средняя величина коэффициента теплоотдачи по ширине контактной поверхности оболочки вращения; λ – коэффициент теплопроводности среды; V – скорость движения оболочки вращения; υ – коэффициент кинематической вязкости.

При средней величине коэффициента $\alpha_{ср}$ по ширине контактной поверхности оболочки вращения значения постоянных C и n определяем по графикам [3].

Оценка работоспособности оболочки вращения ведется по максимальным температурам, поэтому определение теплового режима оболочки для области контакта с опорной поверхностью в зависимости от эксплуатационных и конструктивных параметров является достаточным условием оценки теплонапряженности её работы.

При тепловом расчёте пренебрегаем кривизной поверхности и центральное сечение контактной поверхности оболочки вращения рассматриваем как однородную пластину с внутренними источниками теплоты, интенсивность которых есть функция координаты x. Уравнение теплопроводности при принятых допущениях записывается в виде

$$\frac{d^2T}{dx^2} = -\frac{q_v(x)}{x},$$

где T – температура; q_v – мощность источника теплообразования; x – координата.

Уравнение показывает, что тепловой режим оболочки вращения определяет мощность источника теплообразования q_v. Зная распределение температуры по центру контактной поверхности оболочки вращения в зависимости от ее параметров и вычисляя вторую производную этой температуры по координате x, получим с точностью до постоянного множителя мощность источника теплообразования q_v/λ.

На испытательном стенде проведены эксперименты по исследованию температурных полей оболочек вращения. Оболочка прижималась к беговому барабану диаметром 1500 мм и шириной 350 мм при помощи грузового устройства. Для уменьшения разброса результатов измерений и стабилизации механических и теплофизических свойств резины и металлической основы оболочки вращения подвергались 2-часовой обкатке при максимальной для заданной конструкции нагрузке и соответствующем внутреннем давлении, после чего они выдерживались сутки при комнатной температуре. Измерения температуры оболочки вращения проводились с помощью игольчатых термопар. Оценка погрешностей игольчатых термопар осуществлялась в соответствии с работой [9].

Замеры температуры производились с шагом по толщине 2 мм при стационарном

режиме. Каждой термопарой проводилось по 5 замеров в соответственных (сходных) точках оболочки. Промежуток времени между остановкой оболочки с последним замером равнялся 60 с. После каждого замера для восстановления прежнего теплового состояния оболочки обкатывались в течение $1{,}2\times10^3$ с.

Съем сигналов от датчиков оболочки осуществлялся с помощью десятиканального токосъемника с контактными кольцами диаметром 4 мм. Расхождений между показаниями предварительно установленных и игольчатых термопар нет. Замеры температуры проводились по центру, углу контактной поверхности, в области боковой поверхности.

При проведении эксперимента были выбраны четыре оболочки вращения, имеющие различные эксплуатационные характеристики: оболочки вращения ОВ1, ОВ2, ОВ3, ОВ4.

Основные характеристики исследуемых оболочек вращения приведены в таблице.

Основные характеристики исследуемых оболочек вращения

№ п/п	Характеристика оболочки вращения	ОВ1	ОВ2	ОВ3	ОВ4
1	Наружный диаметр, мм	1035	1150	940	767
2	Максимальная ширина поперечного сечения, мм	234	280	192	160
3	Контактная поверхность: а) тип каучука б) толщина, мм	 100 СК 28	 100 СК 30	 100 СК 27	 100 СК 19
4	Количество слоев слоев армирующих элементов	8	10	6	6
5	Максимальная радиальная нагрузка G, Н	18600	27300	10000	6550
6	Внутреннее давление P, МПа	0,53	0,56	0,33	0,27

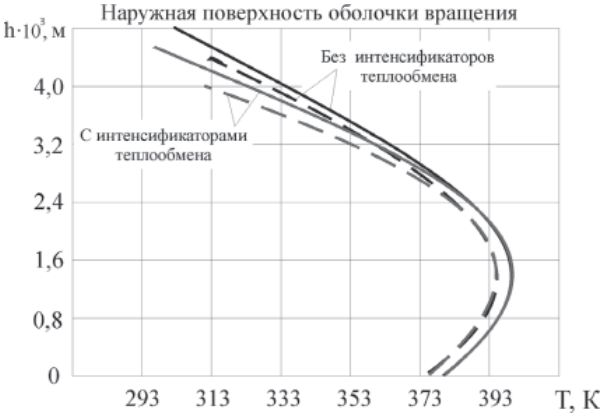


*Рис. 1. Сравнение данных по температуре движущейся оболочки вращения ОВ1 при G = 18000 Н, P = 0,5 МПа, V = 16,7 м/с^*
(———) – расчетные; (– – – – – – –) – экспериментальные

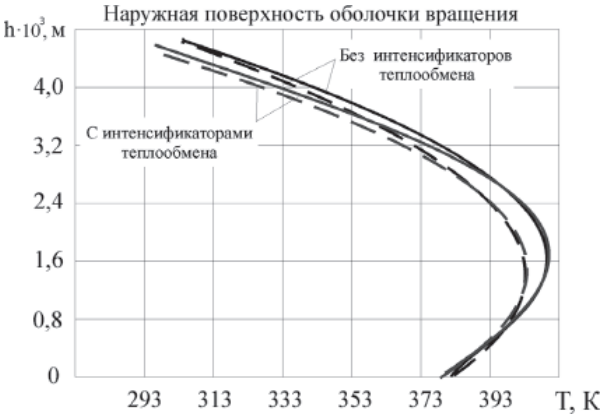


*Рис. 2. Сравнение данных по температуре движущейся оболочки вращения ОВ 2 при G = 27000 Н, P = 0,5 МПа, V = 16,7 м/с^*
(———) – расчетные; (– – – – – – -) – экспериментальные

Исследование теплового состояния оболочек вращения позволило получить общую картину распределения тепловых потоков по радиальному сечению: тепловая энергия, генерируемая в объеме оболочки вращения, отдается в окружающую среду на внешней поверхности и на прогрев воздуха внутри оболочки.

В результате эксперимента получено распределение величины мощности источника теплообразования q_v по высоте оболочки вращения для центра контактной поверхности.

Повышение нагрузки и уменьшение давления внутри оболочки вращения вызывает увеличение амплитуды деформаций, что приводит к росту теплообразования q.

Расчет температурного поля позволяет получить распределение температуры по высоте оболочки вращения в области контактной поверхности в зависимости от её конструктивных элементов и эксплуатационных параметров – таких как скорость движения и нормальная нагрузка G, а также наличие интенсификаторов теплообмена.

Сравнение экспериментальных и расчетных температур для оболочек вращения без наличия и с наличием интенсификаторов теплообмена представлено на рис. 1–2. Из графиков видно, что расчетные кривые с точностью порядка 10% описывают характер распределения температуры по центру контактной поверхности оболочек вращения ОВ1, ОВ2 при изменении внутреннего давления в оболочке, максимальной радиальной нагрузки G и скорости движения оболочки V.

При качении величина и характер проскальзывания оболочки вращения относительно опорной поверхности изменяются в широких пределах. Процесс проскальзывания сопровождается повышением температуры контактируемых тел, что резко увеличивает износ оболочки. Проскальзывание наблюдается на выходе из контакта с опорной поверхностью [1, 8]. В этой области влияние оказывают интенсификаторы теплообмена.

Температуру поверхности оболочки на выходе из контакта с опорной поверхностью в зависимости от материала опорной поверхности, величины теплового потока, генерируемого в зоне контакта, и скорости движения определяли расчетным путем. Решение данной задачи производится с помощью дифференциальных уравнений теплопроводности, позволяющих найти температуры трущихся тел.

Температура элементов оболочки вращения в зоне контакта ее с материалом опорной поверхности рассчитана на ЭВМ, при этом принят линейный закон распределения удельной работы трения в зоне проскальзывания $L_{уд}$, а следовательно, и величины теплового потока q по длине зоны скольжения [10].

С увеличением коэффициента теплопроводности опорной поверхности температура $T_п$ снижается. Повышение скорости движения уменьшает величину температуры $T_п$, так как при одинаковом значении генерируемого теплового потока q прохождение точкой оболочки зоны скольжения будет тем длительнее, чем меньше значение скорости движения V.

Из приведенных на рис. 3 данных видно, что при увеличении скорости движения оболочки V величина $T_п$ в конце зоны скольжения повышается, так как возрастает тепловой поток, генерируемый в зоне контакта оболочки с поверхностью, который оказывает большее влияние на температуру поверхности оболочки, чем длительность прохождения точкой оболочки зоны скольжения.

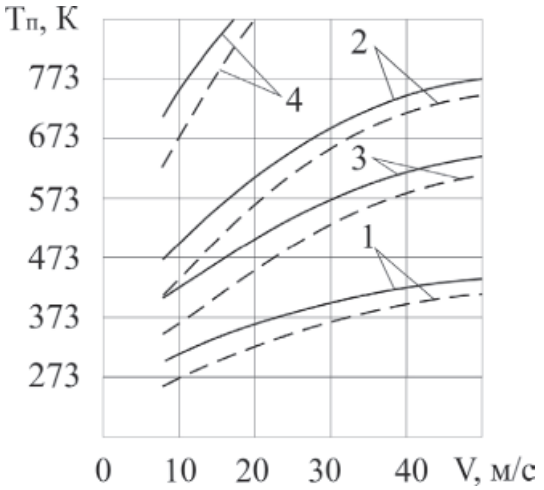


Рис. 3. Изменение максимальной температуры $T_п$ в конце зоны скольжения в зависимости от скорости движения оболочки V при $\lambda_п$ = 0,232 Вт/м·К:
1 – $L_{уд}$ = 1·10⁴ Дж/м², x = 0,01 м;
2 – $L_{уд}$ = 2,5·10⁴ Дж/м², x = 0,01 м;
3 – $L_{уд}$ = 1·10⁴ Дж/м², x = 0,02 м;
4 – $L_{уд}$ = 2,5·10⁴ Дж/м², x = 0,02 м

Полученные данные показывают, что температура поверхности оболочки в конце зоны скольжения ее относительно опорной поверхности достигает высоких значений: 723–873 К.

Расчетным путем установлено, что коэффициент теплопроводности $\lambda_п$ резины несущественно влияет на величину $T_п$. Величина $T_п$ практически не зависит и от объемной плотности теплового потока W при ее значениях 9300–37200 Вт/м³.

Расчет показал, что температура оболочки в зоне контакта ее с опорной поверхностью изменяется в тонком пограничном слое. По расчету определяется, что чем выше скорость движения оболочки V, тем большая температура развивается на поверхности, но тем меньше глубина распространения этой температуры.

При низком коэффициенте теплопроводности материала опорной поверхности глубина распространения $T_п$ незначительна, и на расстоянии $z = (2{,}0–3{,}0)\times10^{-5}$ м от поверхности оболочки независимо от материала опорной поверхности тепловой поток, генерируемый вследствие трения контактируемых тел, не изменяет температуры.

Выводы

Экспериментальные исследования позволили определить зависимости распределения безразмерной плотности источников теплообразования и температурных полей оболочек вращения от их конструктивных и эксплуатационных параметров. Температура оболочки вращения зависит от наличия или отсутствия интенсификаторов теплообмена.

Результаты работы показывают, что температура оболочки в ее объеме не будет возрастать за счет тепловыделения в зоне ее контакта с опорной поверхностью, так как вся выделившаяся теплота отводится в окружающую среду за один оборот оболочки.

Список литературы

1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. – М.: Химия, 1988. – 224 с.

2. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки: Расчет пневматических шин. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

3. Гудков В.А., Дербенев В.А., Ширяев С.А., Тарновский В.Н. Расчет средней температуры наружной поверхности автомобильной шины при ее качении // Каучук и резина. – 1996. – № 6. – С. 6–8.

4. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

5. Елпатьевский А.Н., Васильев В.В. Прочность цилиндрических оболочек из армированных материалов. – М.: Машиностроение, 1972. – 168 с.

6. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.

7. Осипов Ю.Р., Шлыков С.А. Моделирование процесса теплообразования в оболочке вращения // Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы второй международной научно-технической конференции. Т. 2. – Вологда: ВоГТУ, 2006. – С. 145–149.

8. Шершнев А.А. Попов М.Т. О температуре шины в зоне контакта ее с дорожным покрытием // Каучук и резина. – 1973. – № 7. – С. 38–41.

9. Шершнев А.А., Михайлов Э.Б. Погрешность замера температуры двухслойных тел игольчатой термопарой // Каучук и резина. – 1972. – № 8. – С. 24–27.

10. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А. Контактный теплообмен. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 232 с.

References

1. Bukhin B.L. *Vvedenie v mehaniku pnevmaticheskih shin* [Introduction to mechanics of pneumatic tires]. Moscow, Himiya, 1988. 224 p.

2. Grigolyuk E.I. *Mnogosloynyie armirovannyie obolochki: Raschet pnevmaticheskih shin* [The multilayered reinforced covers: Calculation of pneumatic tires]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 288 p.

3. Gudkov V.A., Derbenyov V.A., Shiryaev S.A., Tarnovsky V.N. *Kauchuk i rezina*, 1996, no. 6. pp. 6–8.

4. Dulnev G. N. *Teploprovodnost smesey i kompozitsionnyih materialov* [Transfer of heat of mixes and composite material]. Leningrad, Energiya, 1974. 264 p.

5. Elpatyevsky A.N., Vasilyev V.V. *Prochnost tsilindricheskih obolochek iz armirovannyih materialov* [Strength of cylindrical mantles from the strengthened materials]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 168 p.

6. Obraztsov I.F., Vasilyev V.V., Bunakov V.A. *Optimalnoe armirovanie obolochek vrascheniya iz kompozitsionnyih materialov* [Optimum reinforcing of composite mantles of rotation]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 144 p.

7. Osipov Yu.R., Shlykov, S.A. *Materialyi vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Avtomatizatsiya mashinostroitelnogo proizvodstva, tehnologiya i nadezhnost mashin, priborov i oborudovaniya»* (Materials 2th international scientific and technical conference «Automation of Machinebuilding Production, Technology and Reliability of Devices and Equipment»). Vologda, 2006, pp. 145–149.

8. Shershnev A.A., Popov M.T. *Kauchuk i rezina*, 1973, no. 7. pp. 38–41.

9. Shershnev A.A., Mikhaylov E.B. *Kauchuk i rezina*, 1972, no. 8. pp. 24–27.

10. Shlykov Yu.P., Ganin E.A. *Kontaktnyiy teploobmen* [Contact piece heat exchange]. Moscow – Leningrad, Gosenergoizdat, 1963. 232 p.

Рецензенты:

Шестаков Н.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики и теплотехники, ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец;

Кабаков З.К., д.т.н., профессор кафедры металлургии, машиностроения и технологического оборудования, ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 663.44

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО НАГРЕВА

Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Мамонтов А.С.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», Кемерово, e-mail: natalya_turova@inbox.ru

В статье представлена установка для исследования основных закономерностей концентрирования творожной сыворотки с помощью метода электролитического нагрева. Авторами были проведены экспериментальные исследования молочной сыворотки при различных температурах. Установлено, что процесс концентрации творожной сыворотки при помощи электролитического нагрева легко поддается управлению при помощи коррекции напряжения. Также процесс обладает возможностью поддерживать постоянную температуру в течение заданного времени, исключая возможность перегревания, что обеспечивает сохранность полезных веществ и витаминов в творожной сыворотке и исключает такое явление, как коагуляция белка. На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод о создании экспериментальной установки электролитического нагрева творожной сыворотки и других пищевых жидкостей, которая позволяет получить продукт с заданными технологическими свойствами, при этом процесс его получения полностью автоматизирован.

Ключевые слова: творожная сыворотка, концентрирование, электролитический нагрев, прямой нагрев, энергозатраты

REGULARITIES OF CONCENTRATION COTTAGE CHEESE WHEY BY THE METHOD OF DIRECT HEATING

Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Mamontov A.S.

Kemerovo Institute of food Science and Technology, Kemerovo, e-mail: natalya_turova@inbox.ru

The article examines the basic regularities of concentration of cottage cheese whey by the method of direct heating. Experimental researches of milk whey at various temperatures are performed by the authors. It was found that the process of concentration of cottage cheese whey using the direct heating is easy to control by voltage correction. Also, the process has the ability to maintain a constant temperature for a predetermined time, excluding the possibility of overheating, which ensures the preservation of nutrients and vitamins in cottage cheese whey and eliminates the phenomenon of coagulation of protein. Based on the analysis of results and data available from other fields one can infer the establishment of the experimental device for direct heating of cottage cheese whey or other liquid foods, which allows to obtain a product with specified technological properties and make the production process fully automated.

Keywords: cottage cheese, concentration, electrolytic heating, direct heating, energy costs

Проблема переработки сыворотки играет важную роль, увеличение производства творога и творожных изделий, а также сыров приводит к значительному увеличению количества сыворотки как побочного продукта переработки молока, что приводит к значительному снижению эффективности производства и загрязнению окружающей среды. Потому что перерабатывается всего лишь 38,0% сыворотки, остальная часть сливается, что значительно ухудшает экологическую обстановку региона. По оценкам специалистов объем сливаемой сыворотки, в основном творожной, составляет от 1,5 до 3 млн тонн в год. Таким образом, проблема использования сыворотки неразрывно связана с проблемой охраны окружающей среды.

Академик РАСХН А.Г. Храмцов утверждает: «Необходимость, целесообразность и возможность промышленной переработки молочной сыворотки в настоящее время у профессионалов молочного дела всего мира не вызывают сомнений. Задача состоит в том, как это с наименьшими затратами практически осуществить». Чтобы решить задачу «наименьших затрат» в уравнении со многими неизвестными, необходимо определиться с их значением. Поэтому академик Храмцов А.Г. пишет «…Рациональное использование продуктов, получаемых из молочной сыворотки, является не менее актуальной и значимой проблемой, как и промышленная переработка». И тут же отмечает «…К сожалению, ей уделяется, в том числе переработчиками, потребителями и инвесторами, недостаточное внимание».

Молочная сыворотка обладает высокой пищевой и биологической ценностью, содержит около 50% сухих веществ молока, энергетическая ценность, в значительной части за счет высокого содержания лактозы, составляет 36% от цельного молока. Сывороточные белки, которые являются важным компонентом молочной сыворотки, оптимально сбалансированы по аминокислотному набору, особенно серосодержащих

аминокислот – цистина, метионина, что создает возможности для регенерации белков печени, гемоглобина и белков плазмы крови. Минеральные соли сыворотки практически идентичны солям цельного молока и содержат «защитные» комплексы антисклеротического действия. В целом сыворотку можно охарактеризовать следующей формулой: «минимум калорий при максимуме биологической ценности». Потери ее ведут к снижению эффективности переработки молока [6, 7, 1].

Количество методов переработки молочной сыворотки достаточно велико, однако при выборе того или иного всегда возникает проблема эффективности данного решения.

Помимо стоимости оборудования большую роль играет его энергоэффективность, простота эксплуатации и надежность, а также, несомненно, качество получаемого продукта. Наиболее развитым и перспективным направлением концентрирования молочной сыворотки является ультрафильтрация, микрофильтрация и обратный осмос [3]. Именно эти способы получили наиболее широкое распространение для концентрирования пищевых жидкостей, в том числе и молочной сыворотки. Но ни одно из вышеприведенных направлений не позволяет решить все проблемы переработки молочной сыворотки. Одни из них слишком затратные, другие не обеспечивают получение продукта надлежащего качества. Данные проблемы обуславливают необходимость применения более рациональных методов переработки молочной сыворотки, чтобы обеспечить не только качество полученного продукта, но и обеспечить надежность и эффективность технологического процесса.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является процесс концентрирования молочной сыворотки с помощью электролитического нагрева, далее будем называть его прямой нагрев.

Процесс нагрева в электроводонагревателе электродного типа происходит посредством протекания электрического тока через теплоноситель, за счет сопротивления которого и происходит нагрев. При этом явления электролиза (разложение среды на кислород и водород при пропускании через неё постоянного электрического тока) не наблюдается, так как катод и анод постоянно меняются местами с частотой электрической сети. По сравнению с обычным процессом варки продукт нагревается не с помощью горячей поверхности, а равномерно по всему поперечному сечению. При этом интенсивность нагрева пропорциональна квадрату напряженности электрического поля и электрической проводимости [2]. Интенсивность нагрева можно менять, варьируя расстояние между электродами и изменяя их площадь, а также приложенное напряжение. Важную роль также играет и электрическая проводимость самого продукта и ее зависимость от температуры.

Таким образом, главным достоинством данного метода являются минимальные тепловые потери за счет простоты конструкции и принципа самого нагрева, благодаря чему КПД данной установки близок к 96–98 %. Стоит отметить безопасность данных установок при правильной эксплуатации. Так как теплоноситель является элементом электрической цепи, то в экспериментальной установке отсутствует проблема «сухого хода», или, другими словами, если из системы нагрева по какой-либо причине вытекает теплоноситель, то установка просто перестает работать из-за размыкания цепи, тем самым предотвращая аварийную ситуацию.

Электропотребление данной установки напрямую зависит от заданной температуры, которую можно менять при помощи регулятора напряжения. Чем ниже температура, тем ниже электропотребление. Что касается выхода самого продукта, а в нашем случае – это творожная сыворотка, мы можем сохранить витамины, получить хорошие микробиологические показатели и избежать коагуляции белка.

Результаты исследования и их обсуждение

Был исследован процесс прямого нагрева творожной сыворотки со средними значениями основных технологических параметров: массовая доля сухих веществ – 4,2–7,4 %, кислотность – 50–85 Т, плотность – 1019–1026 кг/м^3, для реализации которого была собрана экспериментальная установка, механическая схема которой представлена на рис. 1.

Данная установка снабжена перемешивающим устройством, выполненным из диэлектрического материала. Электроды имеют плоско-параллельное расположение и используются для включения творожной сыворотки в электрическую цепь. Площадь электродов и расстояние между ними рассчитаны, руководствуясь необходимой температурой нагрева. Напряжение устанавливается с помощью электронного регулятора напряжения. Основные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика установки для прямого нагрева

Материал электродов	12Х18Н10Т
Расстояние между электродами, м	0,1
Площадь электродов, м²	0,00045
Температура, °С	0–90
Объем емкости, л	1
Мощность, кВт	0,6

Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

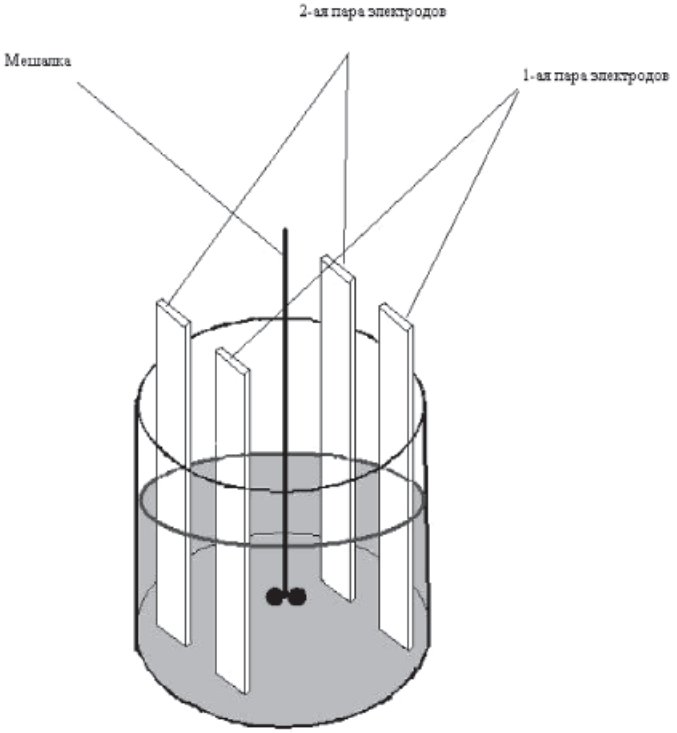


Рис. 1. Механическая схема экспериментальной установки

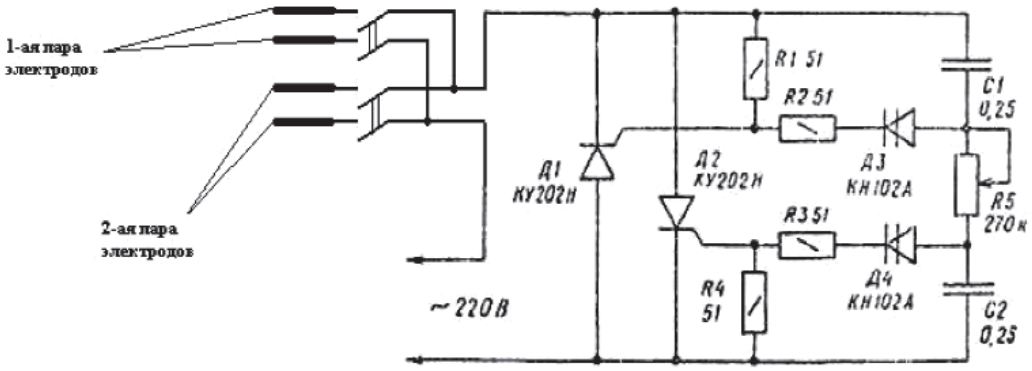


Рис. 2. Электрическая схема экспериментальной установки

Схема позволяет регулировать напряжение на активной нагрузке в пределах от 0 до 220 В. Мощность нагрузки может быть любой в пределах от 25 до 1000 Вт. Основные элементы регулятора напряжения в установке – тиристоры Д1, Д2, включенные встречно друг другу и параллельно нагрузке. Они поочередно пропускают ток то в одном, то в другом направлении.

При включении регулятора в сеть в первый момент оба тиристора закрыты, и конденсаторы заряжаются через резистор R5. Напряжение на нагрузке устанавливают с помощью перемещенного резистора R5, который совместно с конденсаторами C1, C2 образует фазосдвигающую цепочку. Тиристоры управляются импульсами, формируемыми динисторами Д3, Д4. В некоторый момент, который определяется сопротивлением включенной в цепь части резистора R5, откроется один из динисторов (какой именно, зависит от полярности полупериода). Через него потечет ток разряда соединенного с ним конденсатора, поэтому вслед за динистором откроется и соответствующий тиристор. Через тиристор и, соответственно, через нагрузку потечет ток. В момент смены знака полупериода

тиристор закрывается, и начинается новый цикл зарядки конденсаторов, но уже в обратной полярности. Теперь открывается второй динистор и второй тиристор. Особенность этой схемы в том, что в ней используются оба полупериода переменного тока и к нагрузке подводится полная, а не половинная мощность [4].

С целью апробации проведения данного процесса нагрев творожной сыворотки осуществлялся в нескольких режимах, а именно: при температурах 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 °С в течение 60 минут, с исключением возможности закипания данного продукта. В ходе исследования были получены следующие результаты, которые представлены в табл. 2.

Температура нагрева регистрировалась термометром, электропроводность и сопротивление сыворотки были получены расчетным путем с помощью полученных данных (силы тока и напряжения) в процессе прямого нагрева.

Электрическое сопротивление проводников II рода существенно зависит от температуры. С ее возрастанием увеличивается степень диссоциации молекул солей на ионы и их подвижность, вследствие чего сопротивление снижается (рис. 3), а проводимость, являясь величиной обратной удельному сопротивлению, соответственно повышается. График построен по усредненным значениям экспериментов, максимальное отклонение от средних значений не превышало ±5 %.

Таблица 2

Параметры творожной сыворотки в различных режимах нагрева

T, °С	Проба 1, Ом	Проба 2, Ом	Проба 3, Ом	Проба 4, Ом	Проба 5, Ом	Среднее ариф., Ом	γ_t, Ом·м	G, Ом·м$^{-1}$
20	745	850	852	820	780	797,5	3,59	0,27
30	605	710	635	670	700	657,5	2,96	0,33
40	530	595	600	580	575	562,5	2,53	0,39
50	475	505	490	510	485	490	2,21	0,45
60	440	450	420	460	430	445	2,00	0,49
70	415	400	430	400	390	407,5	1,83	0,54
80	400	405	410	415	420	402,5	1,81	0,55
90	390	400	410	370	390	395	1,87	0,53

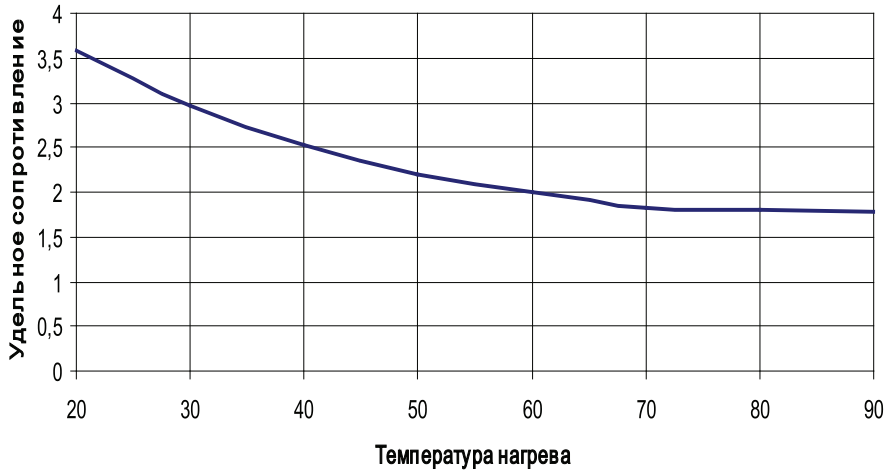


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления сыворотки от температуры

В диапазоне температур 20–90 °С происходит падение удельного сопротивления жидкости в 2 раза, на такую же единицу изменяется мощность, потребляемая из сети. Это один существенный недостаток электродного нагрева, приводящий к завышению сечения питающих проводов и усложняющий расчет установок электродного нагрева [5].

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Температура электродов соответствует температуре творожной сыворотки, что уменьшает скорость отложения солей жесткости на поверхности электродов.
2. Поскольку электроды являются металлическими пластинами, то перегореть они не могут и являются долговечными.
3. Применяя электроды, можно достичь плавного регулирования мощности нагревателя с помощью изменения площади касания электрода с нагреваемой жидкостью.
4. Экономическая и экологическая целесообразность применения данного технологического процесса состоит в использовании молочной сыворотки для производства ценных и полезных продуктов питания.

Список литературы

1. Залашко М.Б. Биотехнология переработки молочной сыворотки. – М.: Агропромиздат. 1990. – 192 с.

2. Косинцев В.И., Пьянков А.Г. Испытания выпарного аппарата электродного типа с прямым электронагревом: Методическое указание к проведению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» // ТПИ. – Томск, 1979. – 11 с.

3. Костюков Д.М., Куленко В.Г., Дыкало Н.Я. Закономерности концентрирования творожной сыворотки методом нанофильтрации // Молочно-хозяйственный вестник. – 2012. – № 1. – С. 32–36.

4. Кублановский Я.С. Тиристорные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.: ил.

5. Тихонов Н.В. Исследование процессов концентрирования и ультрапастеризации соков методом прямого электронагрева: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Кемерово, 2013 – С. 67–68.

6. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Рациональная переработка и использование белково-углеводного молочного сырья // Молочная промышленность. – М., 1998. – 105 с.

7. Храмцов, А.Г Рыночная концепция полного и рационального использования молочной сыворотки // Молочная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 5–6.

References

1. Zalashko M.B. Biotehnologija pererabotki molochnoj syvorotki. M.: Agropromizdat. 1990. 192 p.

2. Kosincev V.I., P'jankov A.G. Ispytanija vyparnogo apparata jelektrodnogo tipa s prjamym jelektronagrevom: Metodicheskoe ukazanie k provedeniju laboratornoj raboty po kursu «Processy i apparaty himicheskoj tehnologii» // TPI. Tomsk, 1979. 11 p.

3. Kostjukov D.M., Kulenko V.G., Dykalo N.Ja. Zakonomernosti koncentrirovanija tvorozhnoj syvorotki metodom nanofil'tracii // Molochno-hozjajstvennyj vestnik. 2012. no. 1. pp. 32–36.

4. Kublanovskij Ja.S. Tiristornye ustrojstva. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Radio i svjaz', 1987. 112 p.: il.

5. Tihonov N.V. Issledovanie processov koncentrirovanija i ul'trapasterizacii sokov metodom prjamogo jelektronagreva: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kand. teh. nauk. Kemerovo, 2013 pp. 67–68.

6. Hramcov A.G., Nesterenko P.G. Racional'naja pererabotka i ispol'zovanie belkovo-uglevodnogo molochnogo syr'ja // Molochnaja promyshlennost'. M., 1998. 105 p.

7. Hramcov, A.G Rynochnaja koncepcija polnogo i racional'nogo ispol'zovanija molochnoj syvorotki // Molochnaja promyshlennost'. 2006. no. 6. pp. 5–6.

Рецензенты:

Лебедев Г.М., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов и производств», ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», г. Кемерово;

Осинцев А.М., д.т.н., заведующий кафедрой «Физика», ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», г. Кемерово.

Работа поступила в редакцию 19.02.2015.

УДК 621.824

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Разумов М.С., Гладышкин А.О., Зиновкин А.А., Пыхтин А.И., Сидорова М.А.
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: mika_1984_@mail.ru

В работе рассматривается способ определения основных геометрических характеристик сечения (площадь, осевые и полярный моменты инерции) в виде треугольника Рёло. В статье описываются основные достоинства и недостатки соединений такого вида в сравнении с использующимися на данный момент общепринятыми соединениями (шпоночные, шлицевый, многогранной правильной формы). Также приводится подробный расчет осевых моментов инерции круговых сегментов. С помощью полученных зависимостей становится возможным определить с высокой степенью точности нормальные и касательные напряжения, возникающие в профильном соединении при передаче крутящего момента. Указанные зависимости могут быть использованы при автоматизированном прочностном расчете соединения по 3-й теории прочности, что позволит сократить время на конструкторско-технологическую подготовку производства изделий, содержащих в своей конструкции соединения на базе треугольника Рёло.

Ключевые слова: полярный момент инерции, осевой момент инерции, профильное соединение, нормальное напряжение, касательное напряжение

COMPUTATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE COMPLEX PROFILE CONNECTION

Razumov M.S., Gladyshkin A.O., Zinovkin A.A., Pykhtin A.I., Sidorova M.A.
Southwest State University, Kursk, e-mail: mika_1984_@mail.ru

The paper deals with a method for determining the basic geometrical characteristics of the section (square, axial and polar moment of inertia) as a Reuleaux triangle. The article describes the main advantages and disadvantages of this type of compounds in comparison with the currently used conventional connections (keyed, splined, multifaceted correct form). It also provides a detailed calculation of axial moment of inertia of circular segments. With the help of these curves it is possible to determine with a high degree of accuracy normal and shear stresses arising in connection with the profile of torque transmission. These dependencies can be used for automated connection strength calculations for the third theory of strength that will reduce the time to design and technological preparation of manufacture of products containing in their joint design based on Reuleaux triangle.

Keywords: polar moment of inertia, axial moment of inertia, the profile connection, normal tension, shear stress

Использование в промышленности (машино-, автомобиле-, приборостроении) профильных валов вместо шлицевых и шпоночных является перспективным в плане обеспечения достаточной надежности тяжелонагруженных соединений [1, 2, 3]. В настоящее время существует несколько способ по реализации формообразования данного вида валов, однако в условиях автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства многие вопросы, связанные с прочностными расчетами [6, 8, 10, 13, 14] очень актуальны.

Для решения данной проблемы было предложено производить оценку прочности соединения исходя из расчета на изгиб с кручением [5, 9, 11, 12]. Требуется с большой точностью определить значение осевых и полярного моментов инерции поперечного сечения [4, 7] (рис. 1).

Расчет моментопередающих соединений на кручение в основном заключается в определении максимального касательного напряжения в поперечном сечении. Основная расчетная формула для определения тангенциального напряжения в точке с координатой y –

$$\tau = \frac{T_{\max} \cdot y}{I_\rho},$$

где $T_{\max}$ – максимальный крутящий момент, передаваемый валом; I_ρ – полярный момент инерции сечения.

Когда сечение имеет простую форму, определение I_ρ не составляет никаких сложностей. В общем виде его можно представить в виде суммы двух осевых моментов инерции

$$I_\rho = I_{Xc} + I_{Yc}. \quad (1)$$

Моментопередающее соединение имеет в поперечном сечении достаточно сложный профиль.

Высота центрального треугольника равна

$$h = \frac{\sqrt{3}(R - r)}{2}, \quad (2)$$

где R – радиус описанных окружностей из вершин центрального треугольника.

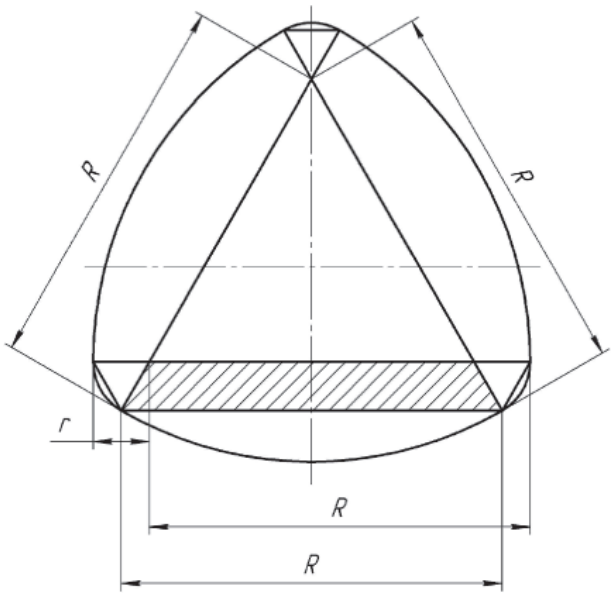


Рис. 1. Плоское сечение моментопередающего вала

Расстояние от оси X_1 до центральной X_c определяется по формуле

$$m = \frac{\sqrt{3}}{3}(R - r).$$

Полярный момент инерции большего кругового сегмента относительно X_c:

$$I_{\rho 1}^{\text{сегм}} = I_y^{\text{сегм}} + I_{x1}^{\text{сегм}} - A \cdot y_c^2 + A(y_c - m)^2, \quad (3)$$

где A – площадь кругового сегмента.

Теперь определим осевые моменты инерции I_{X1}, I_y и площадь кругового сегмента (рис. 2 и 3).

$$I_{X1} = \int_A y^2 dA \quad \text{и} \quad I_Y = \int_A x^2 dA.$$

При вычислении I_{X1} элементарная площадка расположена на расстоянии $y = R \cdot \sin\alpha$. Соответственно, $dy = R\cos\alpha d\alpha$. Угол может изменяться в пределах $\frac{\pi}{3} \le \alpha \le \frac{\pi}{2}$.

Площадь кругового сегмента равна

$$A = \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} dA = R^2\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{4}\right) = 0{,}090586R^2. \quad (4)$$

Момент инерции относительно оси I_{X1} равен

$$I_{X1} = \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} R^2 \cdot \sin^2\alpha \cdot 2bdy = \frac{R^4}{4}\left(\frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{8}\right) = \quad (5)$$

$$= 0{,}076773106R^4.$$

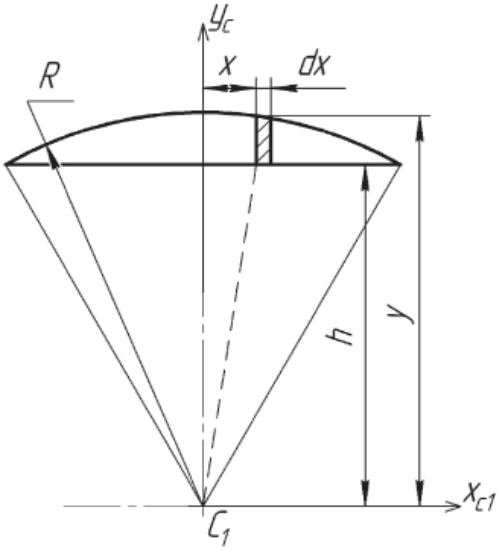


Рис. 2. Определение осевого момента инерции кругового сегмента относительно оси Y_C

Теперь вычислим I_y

$$I_{Yc} = 2\int_0^{\frac{a}{2}} x^2\left(\sqrt{R^2 - x^2} - a\right) dx,$$

где $x = R\cos t$ – расстояние от оси Y до элементарной площадки.

Удобнее всего этот интеграл брать в параметрическом виде. Введем параметр t следующим образом:

$$\cos t = \frac{x}{R}.$$

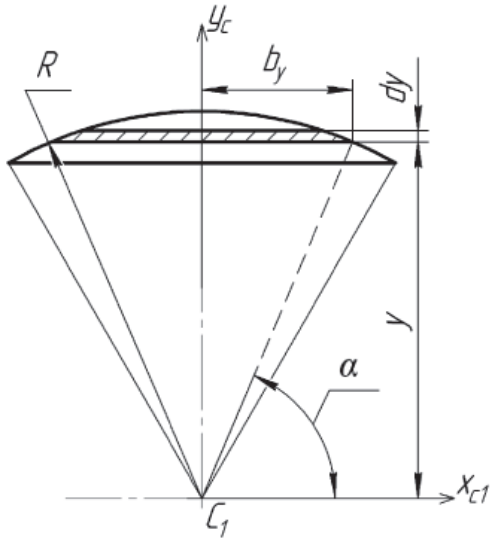


Рис. 3. Определение осевого момента инерции кругового сегмента относительно оси X_{C1}

Соответственно

$$t = \arccos\frac{x}{R}, \quad dx = -R\sin t dt.$$

Следовательно, у нас поменяются пределы интегрирования:

при $x_1 = 0$, $\quad t_1 = \arccos 0 = \frac{\pi}{2}$,

при $x_2 = \frac{R}{2}$, $\quad t_2 = \arccos\frac{R}{2\cdot R} = \frac{\pi}{3}$.

В итоге получим

$$I_Y = 2\int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{3}} R^2\cos^2 t\left(\sqrt{R^2 - R^2\cos^2 t} - a\right)(-R\sin t dt) = \tag{6}$$

$$= R^4\left(\frac{\pi}{2496} - \frac{7\sqrt{3}}{}\right) = 0{,}0046043225\,R^4.$$

Статический момент кругового сегмента относительно оси X_1 равен

$$S_x = \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} y\cdot dA = \frac{R^3}{12}. \tag{7}$$

Координата центра тяжести определяется по формуле

$$y_c = \frac{S_x}{A} = 0{,}919935\,R. \tag{8}$$

Окончательно, подставляя (4), (5), (6) и (8) в (3), получаем полярный момент инерции большего кругового сегмента:

$$I_{\rho 1}^{\text{сегм}} = 0{,}004716376\,R^4 +$$

$$+0{,}090586R^2\left(0{,}919935R - \frac{\sqrt{3}}{3}(R-r)\right)^2.$$

Полярный момент инерции меньшего кругового сегмента относительно *Xc*:

$$I_{\rho 2}^{\text{сегм}} = I_y^{\text{сегм}} + I_{x1}^{\text{сегм}} - A\cdot y_c^2 + A(y_c + m)^2.$$

Все переменные находятся аналогично. Следовательно, полярный момент малого кругового сегмента

$$I_{\rho 2}^{\text{сегм}} = 0{,}004716376\,r^4 +$$

$$+0{,}090586r^2\left(0{,}919935r + \frac{\sqrt{3}}{3}(R-r)\right)^2.$$

Вычислим полярные моменты малого и большого треугольника относительно *X*.

Момент инерции относительно оси *X* большого треугольника

$$I_{x1}^{\Delta} = \frac{R\cdot\left(\frac{R\sqrt{3}}{2}\right)^3}{36} + \left(\frac{2}{3}\cdot h_1 - m\right)^2\cdot A_1,$$

где $h_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}R$ – высота треугольника; $A_1 = \frac{\sqrt{3}R^2}{4}$ – площадь треугольника.

Следовательно,

$$I_{x1}^{\Delta} = \frac{R^4\sqrt{3}}{96} + \frac{\sqrt{3}R^2r^2}{12}.$$

Момент инерции относительно оси *Y* большого треугольника

$$I_{y1}^{\Delta} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}R\cdot R^3}{48} = \frac{\sqrt{3}R^4}{96}.$$

Полярный момент большего треугольника равен

$$I_{\rho 1}^{\Delta} = I_{x1}^{\Delta} + I_{y1}^{\Delta} = \frac{\sqrt{3}R^4}{48} + \frac{\sqrt{3}R^2r^2}{12}.$$

Аналогично находится полярный момент малого треугольника:

$$I_{\rho 2}^{\Delta} = I_{x2}^{\Delta} + I_{y2}^{\Delta} = \frac{\sqrt{3}r^4}{48} + \frac{\sqrt{3}R^2r^2}{12}.$$

Полярный момент центрального треугольника равен

$$I_{\rho}^{\Delta} = \frac{\sqrt{3}(R-r)^4}{48}.$$

Окончательный полярный момент фигуры вычисляется по формуле

$$I_\rho = 3\left(I_{\rho 1}^{\text{сегм}} + I_{\rho 2}^{\text{сегм}}\right) + 3\left(I_{\rho 1}^{\Delta} + I_{\rho 2}^{\Delta}\right) - 2I_\rho^{\Delta}.$$

Введём новую переменную

$$K = \frac{r}{R}.$$

Тогда

$$I_\rho = R^4\left(0{,}08212820665K^4 + \right.$$
$$+0{,}3961779179K^3 + 0{,}6141847019K^2 +$$
$$\left. +0{,}3961779178K + 0{,}08212820665\right).$$

С помощью полученных зависимостей становится возможным определить с высокой степенью точности нормальные и касательные напряжения, возникающие в профильном соединении при передаче крутящего момента. Указанные зависимости могут быть использованы при автоматизированном прочностном расчете соединения по 3-ей теории прочности, что позволит сократить время на конструкторско-технологическую подготовку производства изделий, содержащих в своей конструкции соединения на базе треугольника Рёло.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК-2653.2014.8.

Список литературы

1. Автоматизация прочностного расчета многогранных валов на кручение / В.Н. Кассихин, М.С. Разумов, А.О. Гладышкин, Н.Е Быковская // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2–1. – С. 179–181.

2. Автоматизация технологической подготовки производства профильных валов / С.Г. Емельянов, А.О. Гладышкин, М.С. Разумов, С.Ф. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 1–1. – С. 164–168.

3. Автоматизированная система для реализации графического решения степенных функций / А.И. Барботько, М.С. Разумов, П.А. Понкратов и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 1 (46). – С. 90–94.

4. Аналитическое определение кинематических переднего и заднего углов инструмента при формообразовании гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением / М.С. Разумов, А.Н. Гречухин, А.И. Пыхтин и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–4. – С. 711–715.

5. Барботько А.И. Математическая статистика в машиностроении: учеб. пособие / А.И. Барботько, А.О. Гладышкин; Курск. гос. техн. ун-т. Курск. – 2006. 320 с.: табл. 177, ил. 46.

6. Барботько, А.И. Обработка многогранников с чётным числом сторон на токарном станке / А.И. Барботько, М.С. Разумов // Вестник машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 46–48.

7. Барботько А.И. Основы теории математического моделирования: учебное пособие / А.И. Барботько, А.О. Гладышкин. – Ст. Оскол: ООО ТНТ, 2008. – 212 с.

8. Гречухин А.Н. Экспериментальное определение минимального значения заднего угла инструмента при обработке профильной части пружин железнодорожного транспорта посредством планетарного механизма / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Фундаментальные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 3–2. – С. 50–55.

9. Определение погрешности формы при обработке многогранников на токарном станке / А.И. Барботько, М.С. Разумов, А.О. Гладышкин и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 3 (36). – С. 130–134.

10. Понкратов П.А. Технология обработки профильных валов чашечными долбяками / П.А. Понкратов, А.И. Барботько, М.С. Разумов // «Технические науки – от теории к практике» – материалы Международной научно-технической конференции. – 2013. – № 17–1. – С. 75–79.

11. Проверочный расчет заготовок на жесткость в процессе формообразования гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением / А.О. Гладышкин, А.Н. Гречухин, М.С. Разумов и др. // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2014.– № 4 (205). – С. 13–16.

12. Проектирование профиля долбежного инструмента для формирования профильных отверстий / П.А. Понкратов, А.И. Барботько, М.С. Разумов и др. // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2013. – № 5. – С. 113.

13. Разумов М.С. Комбинированный способ обработки профильных валов посредством планетарного механизма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2–1. – С. 83–86.

14. Разумов М.С. Повышение производительности формообразования многогранных наружных поверхностей посредством планетарного механизма: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2011. – 18 с.

References

1. Avtomatizacija prochnostnogo rascheta mnogogrannyh valov na kruchenie (Automation strength calculation polyhedral shaft torsional) V.N. Kassikhin, M.S. Razumov, A.O. Gladyshkin, N.E. Bykovskaya // Proceedings of the Southwestern State University: Engineering and technology. 2012. no. 2–1. pp. 179–181.

2. Avtomatizacija tehnologicheskoj podgotovki proizvodstva profil'nyh valov (Automation of technological preparation of production of profile shaft). S.G. Emeljanov, A.O. Gladyshkin, M.S. Razumov, S.F. Jacun. News of SouthWest state university. 2012. no. 1–1. pp. 164–168.

3. Avtomatizirovannaja sistema dlja realizacii graficheskogo reshenija stepennyh funkcij (Automated system for implementing the graphical solution of power functions) A.I. Barbotko, M.S. Razumov, P.A. Ponkratov [et al.] Proceedings of the Southwestern State University. 2013. no. 1 (46). pp. 90–94.

4. Analiticheskoe opredelenie kinematicheskih perednego i zadnego uglov instrumenta pri formirovanii grannyh poverhnostej s peremennym profilem planetarnym tocheniem (Analytical determination of kinematic front and rear corners of the tool in forming faceted surfaces with variable profile planetary turning) M.S. Razumov, A.N. Grechukhin, A.I. Pykhtin [et al.] Basic Research. 2014. no. 5–4. pp. 711–715.

5. Barbotko, A.I. Matematicheskaj statistika v mashinostroenii (Mathematical statistics in engineering): studies. Manual A.I. Barbotko, A.O. Gladyshkin; Kursk. state. tehn. Univ. Kursk. 2006. 320 p .: tab. 177, ill. 46

6. Barbotko, A.I. Obrabotka mnogogrannikov s chetnym chislom storon na tokarnom stanke (Processing polyhedra with

an even number of sides on a lathe) A.I. Barbotko, M.S. Razumov Bulletin of Engineering. 2010. no. 1. pp. 46–48.

7. Barbotko, A.I. Osnovy matematicheakogo modelirovanija (Fundamentals of the theory of mathematical modeling): a tutorial A.I. Barbotko, A.O. Gladyshkin. Art. Oskol: TNT Ltd. , 2008. 212 p.

8. Grechukhin, A.N. Eksperimental'noe opredelenie minimal'nogo znachenija zadnego ugla instrumenta pri obrabotke profil'noy chasti pruzhin zheleznodorozhnogo transporta posredstvom planetarnogo mechanozma (Experimental determination of the minimum value of the clearance angle of the tool during machining of the airfoil spring rail transport through the planetary gear) A.N. Grechukhin, M.S. Razumov, S.A. Chevychelov Fundamental problems of engineering and technology. 2013. no. 3–2. pp. 50–55.

9. Opredelenie pogreshnosti formy pri obrabotke mnogogrannikov na tokarnom stanke (Determination of errors in the processing of forms polyhedra on a lathe) A.I. Barbotko, M.S. Razumov, A.O. Gladyshkin [et al.] Proceedings of the South-Western State university .– 2011. no. 3 (36). pp. 130–134.

10. Ponkratov P.A.Technologija obrabotki profil'nyh valov chashechnymi dolbjakami (Processing technology core shafts cup cutter) P.A. Ponkratov, A.I. Barbotko, M.S. Razumov // Engineering from theory to practice International scientific and technical conference. 2013. no. 17–1. pp. 75–79.

11. Proverochnyj raschet zagotovok na zhestkost' v processe formoobrazovaniy grannyh poverhnostey s peremennym profilem planetarnym tocheniem (Calculation check blanks on the stiffness in the formation of faceted surfaces with variable profile planetary turning) A.O. Gladyshkin, A.N. Grechukhin, M.S. Razumov [et al.] Directory. Engineering magazine with the application. 2014. no. 4 (205). pp. 13–16.

12. Proektirovanie profilja dolbezhnogo instrumenta dlja formirovanija profil'nyh otverstij (Design Profile slotting tool for the formation of core holes) P.A. Ponkratov, A.I. Barbotko, M.S. Razumov [et al.] Modern problems of science and education: electronic scientific journal. 2013. no. 5. pp. 113.

13. Razumov M.S. Kombinirovannyj sposob obrabotki profil'nyh valov posredstvom planetarnogo mehanizma (Combined method of processing core shaft by the planetary gear) M.S. Razumov Proceedings of the South-Western State University. Series: Engineering and technology. 2012. no. 2–1. pp. 83–86.

14. Razumov, M.S. Povyshenie proizvoditel'nosti formoobrazovanija mnogogrannyh naruzhnyh poverhnostej posredstvom planetarnogo mehanizma. (Increase of productivity of a shaping of many-sided external surfaces by means of the planetary mechanism): Abstract of the thesis of Candidate of Technical Sciences. M.S. Razumov Kursk, 2011. 18 p.

Рецензенты:

Кобелев Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, ЮЗГУ, г. Курск;

Яцун С.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники, ЮЗГУ, г. Курск.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 630*812: 539.3

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОЦЕНКИ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ НА КОРНЮ

Салдаева Е.Ю., Анисимов Э.А., Цветкова Е.М.

ФБГОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, e-mail: ekaterinadudina@mail.ru

Основным техническим показателем, характеризующим резонансные свойства древесины, является акустическая константа К, которая выражает резонансную способность материала через максимальную упругость при минимальной плотности. В работе представлен анализ стандартных способов определения показателей плотности, статического и динамического модуля упругости, необходимых для расчета акустической константы. Для такого материала, как древесина, обладающего свойством пластичности, особенно в раннем возрасте, характерно явление остаточной деформации. С целью исключения этого фактора следует рассчитывать акустическую константу через динамический модуль упругости. В работе предложено теоретическое описание способа определения акустической константы неразрушающим резонансным методом по собственной (резонансной) частоте поперечных колебаний образца при консольном креплении; предложена соответствующая схема проведения испытаний. По результатам экспериментальных исследований разработана математическая модель зависимости собственной (резонансной) частоты от таких факторов, как геометрические размеры образца, в частности диаметра и рабочей длины, а также усилия консольного зажима образца. В качестве постоянных факторов приняты порода и влажность древесины, масса колпачка для создания колебаний образца.

Ключевые слова: оценка качества, модуль упругости, резонансные пиломатериалы, подрост, оперативный контроль

A WAY TO ASSESS THE RESONANT PROPERTIES OF STANDING TIMBER AT AN EARLY AGE (THEORETICAL GROUNDING)

Saldaeva E.Y., Anisimov E.A., Tsvetkova E.M.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: ekaterinadudina@mail.ru

Acoustic constant (K) is the basic technical parameter, describing timber resonant properties. K shows timber resonant properties for maximum elasticity with the least density. An analysis of a common technique to determine the density index, static and dynamic module of elasticity, needed to determine the acoustic constant, is offered in the paper. Timber is an elastic material (particularly, at an early age) and such phenomenon as permanent residual deformation is typical for it. It is important to calculate the acoustic constant through the dynamic module of elasticity to exclude permanent residual deformation. A theoretical description of the way to determine an acoustic constant (K) by means of nondestructive resonance frequency method was offered in the paper. The method is supposed to use the natural (resonance) frequency of lateral oscillation of timber (sample) in single-sided support. A certain structural test pattern and a formula were elaborated. A mathematical model of the natural (resonance) frequency dependence on timber dimension (diameter and working length in particular) as well as stress of the console clam of timber was elaborated in accordance with the results of the experimental research. Constant figures are: species, wood moisture and weight of cap to provoke oscillations in timber (sample).

Keywords: quality assessment, elastic modulus, resonant wood, undergrowth, operational control

Известно, что основным техническим показателем, характеризующим резонансные свойства древесины, является акустическая константа *K*, предложенная акад. Н.Н. Андреевым, м^4/(кг·с):

$$K = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho^3}}, \qquad (1)$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости, Па; ρ – плотность, кг/м^3.

Следовательно, для ее определения необходимо знать значение плотности и модуля упругости древесины.

Плотность является косвенным показателем (отношение массы к объему). Для измерения плотности древесины существуют десятки методов, часть которых, включая стандартные и новейшие, подробно изложена в работе О.И. Полубояринова [1, 5]. Выбор того или иного метода связан в основном с производственными условиями и возможностями целевого отбора резонансного сырья (на корню, в круглых или пиленых лесоматериалах, заготовках и т.д.).

Наиболее практичным (производительным) для отбора резонансной древесины в круглых лесоматериалах, тем более на корню, является способ, основанный на определении плотности путем погружения образцов нестандартной формы и размеров в жидкость с дальнейшим выявлением

выталкивающей силы [5]; при этом отпадает необходимость не только в изготовлении стандартных образцов, но и не требуется их специальная калибровка в сушильных камерах.

Модуль упругости можно определить путем измерения упругих деформаций при статических испытаниях материала различными методами [4, 6].

В соответствии с ГОСТ 16483.9 можно определить статический модуль упругости через величину прогиба образца в форме прямоугольного бруска сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм [3]. Испытание проводят при действии изгибающего усилия перпендикулярно радиальной поверхности образца. Образец с закрепленным на нем прибором для измерения прогиба нагружают по схеме (рис. 1).

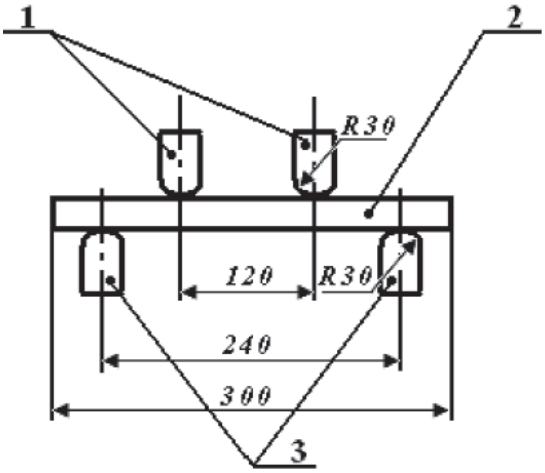


Рис. 1. Схема определения модуля упругости по ГОСТ 16483.9:
1 – нажимные ножи;
2 – образец для испытаний; 3 – опоры

Модуль упругости древесины при кондиционировании образцов (E_W) в МПа вычисляют по формуле

$$E = \frac{3pl^3}{64bhf}, \qquad (2)$$

где l – расстояние между опорами; мм; p – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, Н; b – ширина образца, мм; h – высота образца, мм; f – прогиб образца в зоне чистого изгиба, равный разности между средними арифметическими результатами измерения прогиба при верхнем и нижнем пределах нагружения, мм. При этом может применяться многократная нагрузка и разгрузка.

Для такого материала, как древесина, обладающего свойством пластичности, особенно в раннем возрасте, характерно явление остаточной деформации.

С целью исключения данного фактора следует использовать динамический модуль упругости. В ряде случаев динамический модуль упругости определяется быстрее и проще, чем статический. К тому же использование динамического модуля упругости для характеристики упругих свойств дает больше возможности для исследования влияния различных факторов, в том числе влажности и температуры, поскольку образцы древесины при испытаниях не разрушаются, что дает возможность использовать их для других испытаний, подвергать многократному увлажнению и высушиванию.

Наиболее простым и удобным является определение динамического модуля упругости резонансным методом по собственной (резонансной) частоте образца. Данным методом исследовались образцы зрелой древесины стандартной формы и размеров, а также были проведены исследования на кернах. Но для изучения резонансных свойств древесины в раннем возрасте необходимо проводить испытания на боковых побегах. В связи с этим возникает необходимость расширить исследования резонансных свойств древесины, определив значение динамического модуля упругости древесины резонансным методом через собственную частоту образца [7].

Динамический модуль упругости образцов предлагается находить по частоте собственных изгибных или продольных колебаний.

Суть метода заключается в выявлении собственной (резонансной) частоты образца f при пропускании через образец детерминированного звукового сигнала с повышающейся частотой и определении $E_д$ с учетом его рабочей длины l, диаметра d и объемного веса γ, а также константы K по формуле (1).

Структурная схема принципа работы метода представлена на рис. 2. Устройство представляет собой систему из электромагнитного вибратора (3), возбуждающего колебания исследуемого образца (5) с помощью «башмачка» (6) из мягкого железа и электромагнитного датчика (4), регистрирующего амплитуду и частоту колебаний образца. С выхода звуковой платы (2.2) гармонический сигнал по соединительному кабелю подаётся на вибратор (3). Сигнал с датчика поступает на вход звуковой платы компьютера (2.1).

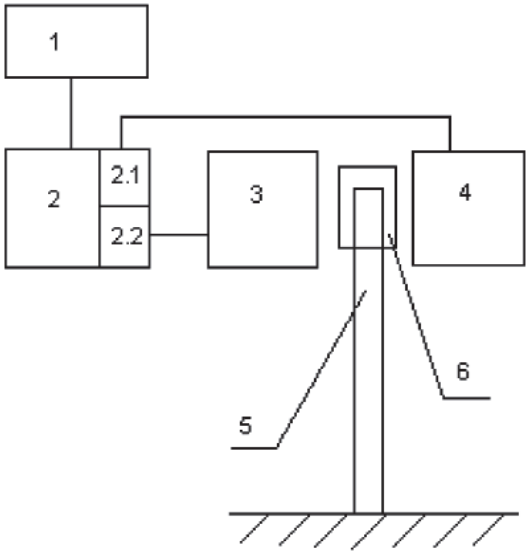


Рис. 2. Структурная схема метода:
1 – монитор; 2 – компьютер, включающий:
2.1 – вход звуковой платы, 2.2 – выход звуковой платы; 3 – вибратор типа ТК-67-Н;
4 – датчик типа ТК67-Н; 5 – образец;
6 – ферромагнитный «колпачок»

Динамический модуль упругости $E_{дин}$ (кг/см^2) находится по следующей формуле:

$$E_{дин} = \frac{A \cdot \rho \cdot l^4 \cdot f^2}{305 \cdot J} \cdot 10^{-3}, \qquad (3)$$

где A – площадь поперечного сечения, см^2; ρ – плотность, г/см^3; l – свободная длина стержня, см; f – частота колебаний, Гц; J – момент инерции поперечного сечения, см^4.

$$A \cdot \rho \cdot L = m; \qquad (4)$$

$$E_{дин} = \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2}{305 \cdot J} \cdot 10^{-3}. \qquad (5)$$

Принимая во внимание, что теоретические основы колебаний упругих тел применялись к древесине, материалу анизотропному и неоднородному, возможность использования уравнения (15) потребовала детальной проверки. В частности, необходимо было установить степень влияния различных факторов, определить соотношение между статическими и динамическими модулями упругости. Исследования ученых доказали адекватность и практическую применимость формулы (4), а также отсутствие значимой разницы между статическим и динамическим модулями упругости у древесины ели [4, 8].

Для получения более точных, близких к истинному значению, показателей резонансной частоты и динамического модуля упругости древесины на примере образцов с консольным типом крепления нужно учесть влияние массы колпачка, который устанавливается на свободный конец образца для создания колебаний исследуемого черенка. С учетом этих дополнений истинная резонансная частота будет определяться по формуле

$$f_{ист} = f_{рез} \cdot (1 + \Delta m/m), \qquad (6)$$

где Δm – масса «башмачка», кг; m – масса рабочей части образца, кг.

Таким образом, более достоверное, истинное значение динамического модуля упругости образца круглого сечения будет определяться по следующей расчетной формуле:

$$E_{дин} = \frac{64\pi \cdot 2\ell 4\rho f_{ист}^2}{a_0 4 d^2} \text{ (Н/м}^2\text{)}, \qquad (7)$$

где d – средний диаметр образца, м.

Момент инерции сечения образца с колпачком $J_{сеч}$ (см^4) вычислим по формуле

$$J_{сеч} = J_к + J_{обр} = m_к \cdot l'^2 + \frac{m_{обр} \cdot l^2}{3}, \qquad (8)$$

где $J_к$ – момент инерции сечения колпачка, см^4; $J_{обр}$ – момент инерции сечения образца, см^4; l' – длина колпачка, см.

Объединяем формулы (4) и (5) и выразим $E_{дин}$ (кг/см^2) по формуле

$$E_{дин} = \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2}{305 \cdot \left(m_к \cdot l'^2 + \frac{m_{обр} \cdot l^2}{3} \right)} \cdot 10^{-3}. \qquad (9)$$

Осуществим перевод единиц измерения $E_{дин}$, находимого по формуле (6), из кг/см^2 в Па

$$E_{дин} = \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{11}}{305 \cdot \left(m_к \cdot l'^2 + \frac{m_{обр} \cdot l^2}{3} \right)} = \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2 \cdot 10^8}{305 \cdot \left(m_к \cdot l'^2 + \frac{m_{обр} \cdot l^2}{3} \right)} \approx 0{,}328 \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2}{m_к \cdot l'^2 + \frac{m_{обр} \cdot l^2}{3}} \cdot 10^6. \qquad (10)$$

Модуль упругости образцов с влажностью, отличающейся от 12 % более чем на 1 %, в пределах от 8 до 20 %, пересчитываем к влажности 12 % с точностью до 25 МПа по формуле

$$E_{12} = \frac{E_w}{1 - 1 \cdot 10^{-2}\left(W - 12\right)}, \qquad (11)$$

где $1 \cdot 10^{-2}$ – поправочный коэффициент на влажность для всех пород древесины; W – влажность образцов в момент испытания, %.

Модуль упругости образцов с влажностью, равной или больше предела насыщения клеточных стенок, пересчитываем к влажности 12 % с точностью до 25 МПа по формуле

$$E_{12} = E_w \cdot K_{15}^{30}, \qquad (12)$$

где K_{15}^{30} – пересчетный коэффициент при влажности 30 %, равный 1,25 для хвойных пород.

Находим акустическую константу K (м^4/(кг·с)) из формул (1) и (10):

$$K = \sqrt{0{,}328 \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2}{\rho^3 \cdot \left(m_к \cdot l'^2 + \frac{m \cdot l^2}{3}\right)} \cdot 10^6}. \qquad (13)$$

При детальном изучении процесса определения резонансной частоты требуется получить максимально точное описание зависимости отклика от варьируемых параметров. В таком случае наиболее целесообразно построение уравнения регрессии с использованием планов второго порядка. Этим целям удовлетворяет В-план.

Переменными факторами плана являются: x_1 – рабочая длина образца $l_{раб}$; x_2 – диаметр образца d; x_3 – усилие зажима образца в устройстве, p. Пределы варьирования факторов и полученные экспериментальные результаты приведены в таблице.

За постоянные факторы приняты: порода и влажность древесины, масса колпачка.

Выходной параметр Y – собственная (резонансная) частота образца, являющаяся функцией от переменных факторов

$$Y = f(x_1, x_2, x_3). \qquad (14)$$

Была получена регрессионная модель в виде следующего уравнения:

$$\begin{aligned} Y = {} & 333{,}57 - 256{,}8\, x_1 + 311{,}7 x_2 + \\ & + 2{,}2 x_3 + 111{,}56 x_1^2 + 20{,}06 x_2^2 + \\ & + 4{,}44 x_3^2 - 188{,}5 x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_2 x_3. \end{aligned} \qquad (15)$$

Данное уравнение регрессии характеризует зависимость собственной (резонансной) частоты древесины $f_{рез}$ при поперечном колебании от диаметра образца, рабочей длины и усилия зажима. Анализ математической модели показал, что все предложенные коэффициенты регрессионного уравнения значимы и модель пригодна к применению, т.к. адекватно описывает реальный процесс.

Результаты экспериментальных исследований при варьировании переменных факторов

№ п/п	Переменные факторы			Резонансная частота $f_{рез}$, Гц
	$l_{раб}$, м	d, м	p, Нм	
1	0,3	0,02	0,6	201
2	0,7	0,02	0,6	61
3	0,3	0,06	0,6	1237
4	0,7	0,06	0,6	328
5	0,3	0,02	1,4	212
6	0,7	0,02	1,4	61
7	0,3	0,06	1,4	1237
8	0,7	0,06	1,4	347
9	0,3	0,04	1	684
10	0,7	0,04	1	206
11	0,5	0,02	1	102
12	0,5	0,06	1	605
13	0,5	0,04	0,6	333
14	0,5	0,04	1,4	325

Список литературы

1. ГОСТ 16483.1-84 Древесина. Метод определения плотности. – Взамен ГОСТ 16483.1-73. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 6 с.

2. ГОСТ 16483.31-74. Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости сдвига и декремента колебаний. – Взамен ГОСТ 15890-70. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 7 с.

3. ГОСТ 16483.9-73 Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе. – Взамен ГОСТ 16483.9-72 – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 5 с.

4. Определение прочности древесины на опытах с изгибающей вибрацией. Off-axis Young's modulus and off- axis shear modulus of wood measured by flexural vibration tests. Yoshihara H., Holzforschung. – 2012. – 66, № 2. – P. 207–213.

5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. – М.: Лесн. пром-ть, 1976. – 159 с.

6. Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Предварительное диагностирование прочностных свойств древесины по показателю динамического модуля упругости вибрационным способом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 2. – С. 55–63.

7. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Стандартизация резонансной древесины: необходимо совершенствование // Стандарты и качество. – 2014. – № 4. – С. 54–57.

8. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю. Резонансная ель для реконструкции Большого театра // Лесное хозяйство – 2011. – № 2. – С. 13–14

Reference

1. GOST 16483.1-84 Drevesina. Metod opredelenija plotnosti. Vzamen GOST 16483.1-73. M.: Izd-vo standartov, 1984. 6 p.

2. GOST 16483.31-74. Drevesina. Rezonansnyj metod opredelenija modulej uprugosti sdviga i dekrementa kolebanij. Vzamen GOST 15890-70. M.: Izd-vo standartov, 1974. 7 p.

3. GOST 16483.9-73 Drevesina Metody opredelenija modulja uprugosti pri staticheskom izgibe. Vzamen GOST 16483.9-72 M.: Izd-vo standartov, 1974. 5 p.

4. Opredelenie prochnosti drevesiny na opytah s izgibajushhej vibraciej. Off-axis Young's modulus and off- axis shear modulus of wood measured by flexural vibration tests. Yoshihara H, Holzforschung. 2012.66, no. 2. pp. 207–213.

5. Polubojarinov O.I. Plotnost' drevesiny. M.: Lesn. prom-t',1976. 159 p.

6. Saldaeva E.Ju., Cvetkova E.M. Predvaritel'noe diagnostirovanie prochnostnyh svojstv drevesiny po pokazatelju dinamicheskogo modulja uprugosti vibracionnym sposobom // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie. 2014. no. 2. pp. 55–63.

7. Fedjukov V.I., Saldaeva E.Ju., Cvetkova E.M. Standartizacija rezonansnoj drevesiny: neobhodimo sovershenstvovanie // Standarty i kachestvo. 2014. no. 4. pp. 54–57.

8. Fedjukov V.I., Saldaeva E.Ju. Rezonansnaja el' dlja rekonstrukcii Bol'shogo teatra // Lesnoe hozjajstvo 2011. no. 2. pp. 13–14.

Рецензенты:

Торопов А.С., д.т.н., профессор кафедры деревообрабатывающих производств лесопромышленного факультета, ФГБОУ ВПО ПГТУ, г. Йошкар-Ола;

Федюков В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Стандартизация, сертификация, товароведение», ФГБОУ ВПО ПГТУ, г. Йошкар-Ола.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 621.314.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВЕНАДЦАТИФАЗНОГО КОМПЕНСИРОВАННОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Сафонов В.И., Хохлов Ю.И., Дзюба М.А., Лонзингер П.В.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Челябинск, e-mail: admin@susu.ac.ru

Проведено экспериментальное исследование двенадцатифазного компенсированного выпрямителя с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник входных токов шестифазных вентильных блоков в случае векторного управления. Исследование выполнено с использованием оборудования лабораторного стенда, подключенного к сети внутреннего электроснабжения университета. Напряжение управления, вносимое последовательно с напряжением питающей сети, создавалось посредством применения индукционного регулятора. Продемонстрировано качественное соответствие электромагнитных процессов, протекающих в преобразователе, полученной ранее теории преобразователя с векторным управлением. Получены экспериментальные внешние и энергетические характеристики выпрямителя. Проведенная статистическая обработка экспериментальных данных показывает качественное соответствие теории и эксперимента. Сделан вывод о том, что векторное управление эквивалентно подключению преобразователя к источнику с регулируемыми амплитудами и фазами питающих напряжений.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, компенсированный выпрямитель, векторное управление, электромагнитные процессы, внешние и энергетические характеристики

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TWELVE-PHASE COMPENSATED RECTIFIER WITH VECTORIAL CONTROL

Safonov V.I., Khokhlov Y.I., Dzyuba M.A., Lonzinger P.V.

South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: admin@susu.ac.ru

An experimental investigation of twelve-phase compensated rectifier with vectorial control was realized. The investigation was delivered by means of using laboratory equipment connected to an university's mains supply. The rectifier has a compensating device that filters in the commutating capacitors odd-multiple harmonics of rectifier assemblies' input currents. A control voltage that summarized with a mains supply voltage is created by means of using a induction voltage regulator. A qualitative equivalence between experimental rectifier's electromagnetic processes and the theory of converter with vectorial control was shown. Experimental rectifier's output and power performances were obtained. A statistical treatment of experimental data shows a qualitative equivalence between the theory and the outcome of experiment. The vectorial control is an equivalent of supplying the rectifier by a power source with adjustable amplitudes and phases of its voltages.

Keywords: experimental investigation, compensated rectifier, vectorial control, electromagnetic processes, output and power performances

Управление величиной выпрямленного напряжения является обязательным условием проведения производственных процессов, использующих источники постоянного тока. В зависимости от отрасли изменяются необходимый диапазон и необходимая точность регулирования [6]. Дискретное регулирование осуществляется в основном механически при помощи РПН или ПБВ трансформаторов. Плавное регулирование можно осуществить, применяя тиристорные выпрямители [1] либо дроссельное управление диодными выпрямителями [3]. Оба эти способа приводят к ухудшению энергетических показателей выпрямителей вследствие практически линейной зависимости потребляемой преобразователем реактивной мощности от угла управления.

Достигнутый к настоящему времени уровень развития силовой электроники позволяет создавать преобразователи на полностью управляемых вентилях, в которых посредством применения широтно-импульсной модуляции (ШИМ) на зажимах переменного тока создаются переменные напряжения, первые гармоники которых свободно регулируются как по амплитуде, так и по фазе [2]. Внесение указанных напряжений, пропущенных через низкочастотный фильтр, последовательно с фазными напряжениями питающей сети позволяет осуществить векторное управление выходным напряжением рассматриваемой системы и потоками мощности [5].

Применение для компенсации реактивной мощности, потребляемой выпрямителем, компенсирующего устройства малой установленной мощности, фильтрующего в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратные гармоники входных токов преобразовательных блоков, позволяет получить максимальную жесткость внешней

характеристики выпрямителя при полной компенсации потребляемой им реактивной мощности. Однако в выпрямителе данной конструкции не устраняется вышеназванный недостаток фазового способа управления выпрямленным напряжением [8].

Впервые способ векторного управления выпрямленным напряжением диодного преобразователя был предложен в [9, 4]. В работах [10, 7] проведено теоретическое исследование электромагнитных процессов и характеристик компенсированных выпрямителей с векторным управлением.

В настоящей работе с использованием лабораторного стенда выполнено экспериментальное исследование электромагнитных процессов и характеристик двенадцатифазного компенсированного выпрямителя с векторным управлением, в котором в коммутирующие конденсаторы фильтруются нечетно-кратные гармоники токов преобразовательных блоков.

Материалы и методы исследования

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. В качестве источника энергии в установке используется трехфазная сеть внутреннего электроснабжения университета с напряжением 380 В. Специальные технические средства, позволяющие улучшить показатели качества электроэнергии, не используются. Ввиду отсутствия в лаборатории мощных трехфазных активных преобразователем с ШИМ в качестве устройства векторного управления использован индукционный регулятор (1). Для измерения разности фаз между напряжением питающей сети и первой гармоникой входного тока преобразователя использовался фазометр ЭЛФ с классом точности 1,5 (2).

Трехфазный трехстержневой многообмоточный силовой трансформатор (3) имеет первичную трехфазную обмотку, соединенную в звезду (с числом витков w_1), и вторичные обмотки, соединенные по схемам «треугольник» ($w_1/\sqrt{3}$ витков) и «звезда» ($w_1/3$ витков). Группы соединения обмоток У/Д/У-11-0. Трансформатором (3) создается ЭДС контура коммутации $E_k = 220/\sqrt{3} = 127$ В.

Для создания компенсирующего устройства (4) используются две трехфазные трансформаторные группы (5 и 6) с коэффициентами трансформации между первичными обмотками (к которым подключаются коммутирующие конденсаторы (7)) и вторичными обмотками, равными $\sqrt{3}$ и 1 для групп 5 и 6 соответственно. Обмотки трансформаторных групп соединены по схемам «треугольник – звезда» (группа (5)) и «звезда – звезда» (группа (6)). Экспериментально установлено, что индуктивное сопротивление контура коммутации x_k = 5 Ом.

Конденсаторная батарея (7) компенсирующего устройства выполнена с помощью дискретно регулируемых в каждой фазе конденсаторов. Характеристики и электромагнитные процессы при проведении эксперимента исследуются в основном режиме работы преобразователя. При данном сопротивлении контура коммутации и емкости конденсаторов в каждой фазе C = 17,69 мкФ, соответствующей относительной частоте контура коммутации ν = 6, появляющийся при малых токах режим с повторной проводимостью вентилей, не позволяет снять исследуемые нами характеристики. Поэтому при проведении эксперимента значения емкости были установленными равными 28; 32 и 58 мкФ, что соответствует относительным частотам контура коммутации ν, равным 4,77; 4,42 и 3,3.

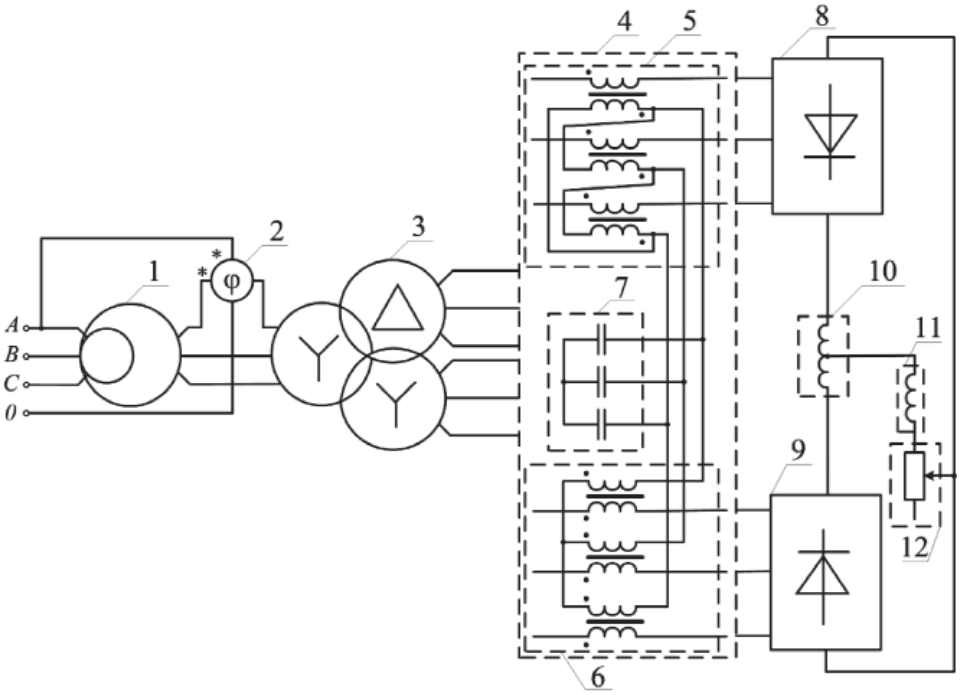


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Крайне важным условием подбора трансформаторного оборудования являлось равенство сопротивлений контуров коммутации для обоих вентильных блоков. Экспериментально данное условие было проверено измерением токов одной из фаз для двух вентильных блоков. Равенство величин токов и коммутационных интервалов (рис. 3, б) свидетельствовало, что необходимая симметрия достигнута.

Вентильные блоки (8) и (9) выполнены по мостовой схеме. Для обеспечения равномерного распределение выпрямленного тока между параллельно работающими мостами в схеме присутствует уравнительный реактор (10). В целях уменьшения содержания высших гармонических составляющих в выпрямленном токе использован сглаживающий реактор (11). Нагрузка (12) *R* изменялась дискретно от 15,4 до 37,6 Ом.

Измерения выпрямленного напряжения выполнены мультиметром Agilent U1241B с относительной погрешностью 0,05 %. Измерение выпрямленного тока осуществляется амперметром M366 с классом точности 1. Получение зависимостей токов и напряжений выполнено электронным осциллографом АКТАКОМ АСК-3117 при помощи прилагаемого к осциллографу программного пакета miltichannel 2.0.4.3. Для потенциальной развязки и согласования параметров силовой и измерительной частей системы при измерении токов использовались трансформаторы тока УТТ-5 с классом точности 0,2 при сопротивлении нагрузки 0,2 Ом, а также подключенный к их вторичным цепям трехфазный лабораторный шунт с сопротивлением 0,3 Ом на каждую фазу. При измерении напряжений для тех же целей использовались лабораторный делитель напряжения для осциллографа с коэффициентом передачи по напряжению 0,01, а также дифференциальный пробник DP-50 с коэффициентом передачи 0,01 и погрешностью 2 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные для внешней характеристики выпрямителя показаны на рис. 2. Зависимости на рис. 2, а получены при изменении сопротивления нагрузки и емкости конденсаторной батареи 58 мкФ. Значения фазного напряжения сети и добавочного напряжения, создаваемого статором (1), соответственно равны 220 и 240 В. Напряжения на входе выпрямителя равны 240 В (для зависимости 1); 140 В (для зависимости 2) и 100 В (для зависимости 3). Зависимости на рис. 2, б получены при изменении сопротивления нагрузки и емкостях конденсаторной батареи 28 мкФ (1), 32 мкФ (2) и 58 мкФ (3). Характеристики сняты при фазном напряжении на входе преобразовательного агрегата, равном 240 В. Измерения напряжений и токов проводились до режима повторной проводимости, наступление которого контролировалось по диаграмме напряжения диода (рис. 4, б). Угол сдвига фаз, измеряемый фазометром в диапазоне измерений фактически не изменялся. Для показанных на рис. 2, а зависимостей коэффициент реактивной мощности равен 1; 1,75 и 2,7 для кривых 1, 2 и 3 соответственно.

Во всех случаях экспериментальные данные были аппроксимированы линейными зависимостями $U_d(I_d) = U_{d0} - X \cdot I_d$. Правильность выбора функции регрессии была подтверждена расчетами коэффициентов корреляции и ошибок в определении коэффициентов. Коэффициенты корреляции были более 0,995 < 1, ошибки коэффициента U_{d0} менее 2 %, ошибки коэффициента X – менее 9 %.

На рис. 2, а показано, что изменение величины входного напряжения выпрямителя позволяет выполнять плавное регулирование величины выпрямленного напряжения. Дополнительно при этом может осуществляться генерация реактивной мощности.

На рис. 2, б показано, что при изменении емкостей коммутирующих конденсаторов изменяется жесткость внешней характеристики выпрямителя. Согласно теории компенсированного выпрямителя [8] жесткость характеристики увеличивается в диапазоне изменения частоты контура коммутации ν от 0 до 6. Таким образом, векторное управление преобразователем при фиксированном значении добавочного напряжения не изменяет качественно тенденций изменения жесткости внешней характеристики.

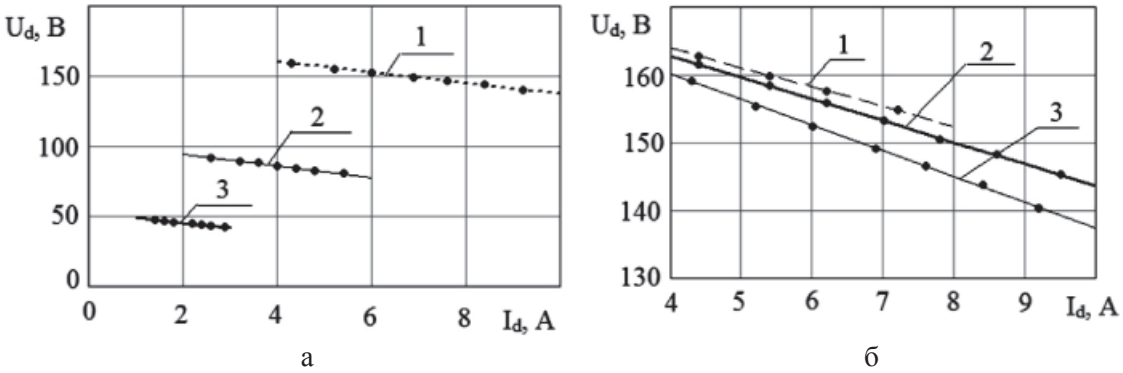


Рис. 2

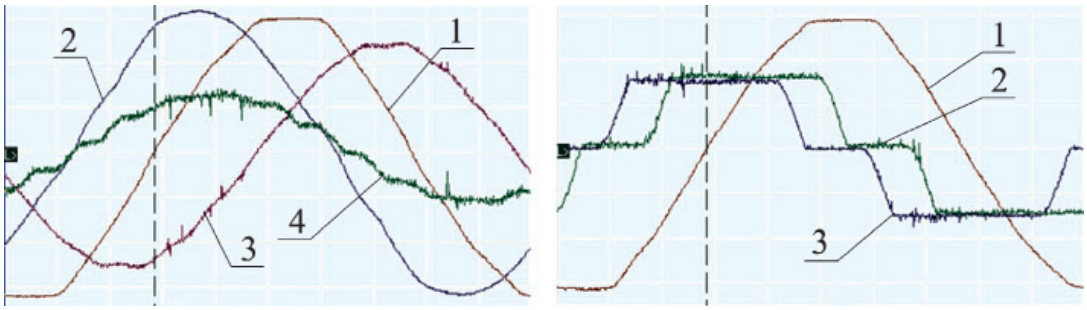
Теория электромагнитных процессов компенсированного выпрямителя с векторным управлением и фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник входных токов преобразовательных блоков была получена при стандартных для мощных преобразователей допущениях, соответствующих второму уровню абстракций [8], когда пренебрегают активным сопротивлением обмоток трансформаторов. Для использованного в лабораторном стенде оборудования указанное условие не выполняется, поэтому сравнение теоретических и экспериментальных данных выполнено только качественно.

Осциллограммы токов и напряжений были сняты для следующих параметров экспериментальной установки: C = 32 мкФ; R = 37,6 Ом, суммарное фазное напряжение на входе преобразовательного трансформатора 240 В. Для определения начала отсчета времени на всех осциллограммах приведено напряжение сети с действующим значением 220 В. Во всех осциллограммах масштаб по времени 2 мс/д.

На рис. 3, а изображены для фазы А осциллограммы напряжения (1) и тока сети (3), напряжения (2) и тока (4) на входе преобразователя. Осциллограммы получены в масштабе 100 В/д (1 и 2) 1 А/д = 100 мВ/д (3); 2 А/д = 200 мВ/д (4). На рис. 3, б изображена для фазы А осциллограмма напряжения сети (1) и токов блоков 9 (2) и 8 (3) (рис. 1). Осциллограммы получены в масштабе 100 В/д (1) 1 А/д = 100 мВ/д (2 и 3).

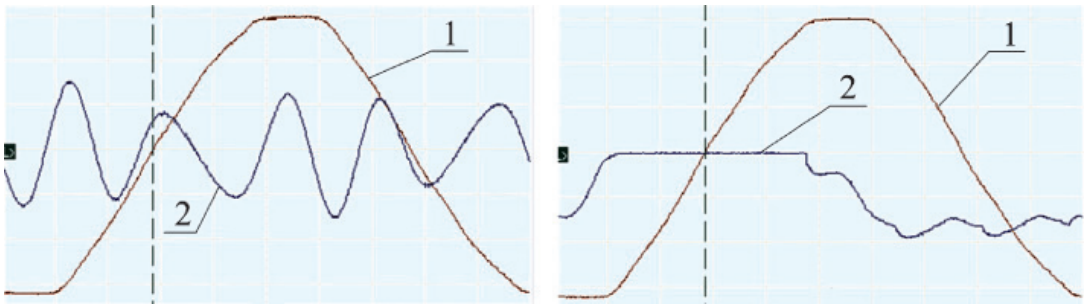
На рис. 3, а показано, что напряжение (2) и ток (4) на входе компенсированного преобразователя совпадают по фазе вследствие компенсации реактивной мощности, потребляемой преобразователем. Компенсация осуществляется коммутирующими конденсаторами. Добавочное напряжение, вносимое статором индукционного регулятора, изменяет амплитуду и фазу напряжения на входе преобразователя (2) по сравнению с напряжением сети (1). Вследствие этого первая гармоника тока (4), потребляемого преобразователем, опережает по фазе напряжение сети (1). Поэтому из сети потребляется реактивная мощность (ток (3) отстает по фазе от напряжения сети (1)).

Для эффективной работы компенсированного преобразователя с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник входных токов преобразовательных блоков необходимо соблюдение равенства амплитуд входных токов преобразовательных блоков и соответствующего смещения по времени их временных зависимостей на 12-ю часть периода. В противном случае компенсирующее устройство будет осуществлять фильтрацию в коммутирующие конденсаторы также и четно-кратных гармоник токов. На осциллограммах рис. 3, б показано, что токи блоков (осциллограммы 2 и 3) фактически удовлетворяют вышеназванному условию.



а б

Рис. 3



а б

Рис. 4

На рис. 4, а изображены для фазы А осциллограмма напряжения сети (1) и напряжения коммутирующего конденсатора (2). Осциллограммы получены в масштабах 100 В/д (1) и 20 В/д (2). На рис. 4, б изображены осциллограмма напряжения сети (1) и напряжение (2) на вентиле фазы А коммутирующей группы блока 8 (рис. 1), прилегающей к катодному узлу блока. Осциллограммы получены в масштабах 100 В/д (1) и 100 В/д (2) для основного режима работы выпрямителя.

На рис. 4, а показано, что напряжение конденсатора содержит только нечетно-кратные гармоники, наибольшую амплитуду из которых имеют 5-я и 7-я гармоники. Амплитуда напряжения на конденсаторах значительно ниже амплитуды напряжения сети. Осциллограмма напряжения на вентиле (рис. 4, б) имеет вид, характерный для рассматриваемого компенсированного выпрямителя в режиме без повторной проводимости.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение векторного управления эквивалентно с точки зрения преобразовательного агрегата регулированию амплитуд и фаз ЭДС эквивалентного источника, питающего преобразователь, что проявляется в соответствующем изменении временных диаграмм и характеристик протекающих в нем электромагнитных процессов. Это согласуется с ранее полученными теоретическими результатами [7, 10].

Выводы

1. Экспериментально продемонстрирована возможность векторного управления двенадцатифазным компенсированным выпрямителем с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник входных токов преобразовательных блоков.

2. Показано, что влияние векторного управления можно рассматривать как изменение параметров эквивалентного источника, питающего преобразователь, соответствующим образом изменяющее временные диаграммы и характеристики протекающих в нем электромагнитных процессов.

3. Получены экспериментальные внешние и энергетические характеристики выпрямителя, качественно согласующиеся с теоретическими.

Список литературы

1. Бобков В.А., Бобков А.В. Реконструкция преобразовательных подстанций для питания электролизеров алюминия // Силовая электроника. Тематическое приложение к журналу «Компоненты и технологии». – 2006. – № 4. – С. 66–68.

2. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672 с.

3. Пат. 1781793 Российская Федерация. Управляемый выпрямитель / Ю.И. Хохлов; заявл. опубл. 1992, Бюл. – 46 с.

4. Пат. 2333589. Российская Федерация. Способ управления многофазным выпрямительным агрегатом / Ю.И. Хохлов; заявитель и патентообладатель Юж.-Урал. гос. ун-т. – 2007109991/09; заявл. 19.03.2007; опубл. – 10.09.2008, Бюл. № 25. – 13 с.

5. Рыжов Ю.П. Дальние передачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.

6. Фишлер, Я.М. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок/ Я.Л. Фишлер, Р.Н. Урманов, Л.М. Пестряева. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.

7. Хохлов Ю.И., Сафонов В.И., Лонзингер П.В. Внешние и энергетические характеристики двенадцатифазных компенсированных выпрямителей с векторным управлением // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – т. 4. – № 4. – С. 37–45.

8. Хохлов Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник токов преобразовательных блоков. – Челябинск: ЧГТУ. – 1995. – 355 с.

9. Хохлов Ю.И. Энерго- и ресурсосберегающие преобразовательные системы электроснабжения электролизного производства алюминиевой промышленности // Электрика. – 2007. – № 3. – С. 3–9.

10. Электромагнитные процессы в компенсированных преобразователях с векторным управлением / Ю.И. Хохлов, В.И. Сафонов, В.Д. Константинов, П.В. Лонзингер // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – www.science-education.ru/117-13505 (дата обращения: 18.01.2015).

References

1. Bobkov V.A. Rekonstrukciya preobrazovatel'nyx podstancij dlya pitaniya e'lektrolizerov alyuminiya / V.A. Bobkov, A.V. Bobkov // Silovaya e'lektronika. Tematicheskoe prilozhenie k zhurnalu «Komponenty i texnologii». 2006. no. 4. pp. 66–68.

2. Zinov'ev G.S. Osnovy silovoj e'lektroniki. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. 672 p.

3. Pat. 1781793 Rossijskaya Federaciya. Upravlyaemyj vypryamitel; zayavl. opubl. 1992, Byul. 46 p.

4. Pat. 2333589. Rossijskaya Federaciya. Sposob upravleniya mnogofaznym vypryamitel'nym agregatom / Yu.I. Xoxlov; zayavitel' i patentoobladatel' Yuzh.-Ural. gos. un-t. 2007109991/09; zayavl. 19.03.2007; opubl. 10.09.2008, Byul. no. 25. 13 p.

5. Ryzhov Yu.P. Dal'nie peredachi sverxvysokogo napryazheniya: uchebnik dlya vuzov. M.: Izdatel'skij dom ME'I, 2007. 488 p.

6. Fishler Ya.M. Transformatornoe oborudovanie dlya preobrazovatel'nyx ustanovok / Ya.L. Fishler, R.N. Urmanov, L.M. Pestryaeva. M.: E'nergoatomizdat, 1989. 320 p.

7. Khokhlov, Yu.I. Vneshnie i e'nergeticheskie xarakteristiki dvenadcatifaznyx kompensirovannyx vypryamitelej s vektornym upravleniem / Yu.I. Xoxlov, V.I. Safonov, P.V. Lonzinger // Vestnik YuUrGU. Seriya «E'nergetika». 2014. t. 4. no. 4. pp. 37–45.

8. Khokhlov Yu.I. Kompensirovannye vypryamiteli s fil'traciej v kommutiruyushhie kondensatory nechetnokratnyx garmonik tokov preobrazovatel'nyx blokov. Chelyabinsk: ChGTU. 1995. 355 p.

9. Khokhlov Yu.I. E'nergo- i resursosberegayushhie preobrazovatel nye sistemy e'lektrosnabzheniya e'lektroliznogo proizvodstva alyuminievoj promyshlennosti // E'lektrika. 2007. no. 3. p. 3–9.

10. E'lektromagnitnye processy v kompensirovannyx preobrazovatelyax s vektornym upravleniem / Yu.I. Xoxlov, V.I. Safonov, V.D. Konstantinov, P.V. Lonzinger // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 3. www.science-education.ru/117-13505 (data obrashheniya: 18.01.2015).

Рецензенты:

Ганджа С.А., д.т.н., профессор, декан энергетического факультета, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск;

Воронин С.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электромеханика и электромеханические системы», ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 502.51:537.8:666.9

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ В ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА СВОЙСТВА БЕТОНА

[2]Фомичев В.Т., [1]Ерофеев В.Т., [1]Емельянов Д.В., [3]Матвиевский А.А., [1]Митина Е.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: emelyanoffdv@yandex.ru;
[2]ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград;
[3]ОАО «МАКСМИР», Москва, e-mail: maxmir@maxmir.ru

В настоящее время существует широкий спектр технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру и свойства цементных композитов, одним из которых является активация воды и водных растворов, применяемых для затворения. В статье рассматривается проблема применения электрохимической активации природной воды в технологии получения бетонных смесей и бетонов. Показано, что основные процессы твердения вяжущего, приготовленного на электрообработанной воде, связаны с электродными (во время обработки воды) и электрокинетическими (во время твердения смеси) процессами. Приведено теоретическое обоснование процесса получения растворов с заданными физико-химическими свойствами. Задавать ионный состав можно электрохимическим растворением металлов. Рассмотрены общие закономерности электрохимического окисления металлов и частный случай генерации ионных структур на основе железа и алюминия. Определены наиболее вероятные границы изменения параметров электрического поля и плотности тока при электрохимической активации природной воды. Управляя ионным составом используемой для затворения воды, можно управлять физико-механическими свойствами получаемого цементного камня.

Ключевые слова: бетоны и другие цементные композиты, вода затворения, природная вода, электрохимическая активация, центры кристаллизации, электрохимический потенциал

THE INFLUENCE OF ELECTRODE REACTIONS IN THE PROCESSES OF ELECTROMAGNETIC ACTIVATION OF NATURAL WATER MIXING ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

[2]Fomichev V.T., [1]Erofeev V.T., [1]Emelyanov D.V., [3]Matvievskiy A.A., [1]Mitina E.A.

[1]Mordovian State University n.a. N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: emelyanoffdv@yandex.ru;
[2]Volgograd State Architectural and Construction University, Volgograd;
[3]JSC «MAXMIR», Moscow, e-mail: maxmir@maxmir.ru

Currently there is a wide range of technological methods, it provides a systematic way to control the structure and properties of cement composites, one of which is the activation of water and aqueous solutions used for mixing. The article considers the problem of applying electrochemical activation of water in the technology of concrete mixtures and concrete. It is shown that the basic processes of hardening binder, prepared with water, treated in an electrolyzer connected with the electrode during water treatment and electrokinetic (during curing of the mixture) processes. Theoretical justification of the process of obtaining solutions with desired physico-chemical properties. To set the ionic composition may electrochemical dissolution of metals. The General rules of electrochemical oxidation of metals and a special case of the generation of ion structures on the basis of iron and aluminum. Determined the most probable range of variation in parameters of the electric field and current density during the electrochemical activation of water. Controlling the ion composition used for mixing water can be controlled physico-mechanical properties of the resulting cement.

Keywords: concrete and other cementitious composites, water mixing, natural water, electrochemical activation, the centers of crystallization, the electrochemical potential

Разработка эффективных композитов на цементных связующих, обеспечивающих улучшение их эксплуатационных показателей и снижение материалоемкости, является важной задачей в области строительного материаловедения.

В настоящее время существует широкий спектр технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру и свойства цементных композитов. Одним из таких технологических приемов является активация воды затворения, которая инициирует химические процессы, протекающие в цементно-водных системах.

Поэтому необходимо уделять значительное внимание в технологии изготовления материалов на основе цементных вяжущих исходному состоянию воды затворения, которая во многом определяет технологические и эксплуатационные свойства полученного материала [3, 5, 4]. При направленном действии внешних физических

полей (электрических, магнитных, тепловых, звуковых и других) вода меняет свои свойства. Такая вода затворения во многом определяет характер процессов гидратации и структурообразования цементных систем [6, 1, 12].

Одним из технологических приемов обработки воды является использование электрического тока для проведения химических процессов на границе металл – электропроводящий раствор – вода (электролит).

Образование цементного камня состоит из ряда протекающих во времени физико-химических процессов, в которых важнейшую роль играет вода [10]. Исследования влияния магнитного поля на процесс схватывания и кристаллизации цементного камня касались вопросов влияния напряженности магнитного поля на его прочностные характеристики. Изменения свойств получаемого камня связываются с влиянием магнитного поля на структурные характеристики воды. Однако известно, что сохранение возмущающего магнитного действия в воде имеет очень короткий временной промежуток [9]. Это относится к «абсолютной химически чистой воде». Для затворения строительного цементного раствора, как правило, используется природная вода, имеющая различный ионный состав, различную величину жесткости. Поэтому природа ионного состава воды определяет «отклик» на воздействие магнитного поля и структуру водного раствора. Особое значение имеет наличие в растворе многовалентных ионов металлов, в частности железа, алюминия, кальция, магния.

Управляя ионным составом используемой для затворения воды, можно управлять физико-механическими свойствами получаемого цементного камня. Задавать ионный состав можно различными способами, в частности электрохимическим растворением металлов. Рассмотрим общие закономерности электрохимического окисления металлов и частный случай генерации ионных структур на основе железа и алюминия.

При анодном растворении металлов с повышением плотности тока в прианодном слое повышается концентрация ионов растворяемого металла. Эта концентрация может расти до предела растворимости по данному иону в данном растворе электролита. При этом анодный потенциал и напряжение на электролизере начинают возрастать. При полном, плотном покрытии анода слоем соединений данного иона (окисный слой) может привести к прекращению процесса растворения. Это явление называется механической (или солевой) пассивностью анода.

Металлы, образующие ионы различных степеней окисления, имеют и различные потенциалы, отвечающие соответствующим реакциям:

$$Me - ne \rightarrow Me^{n+};\ E_1^{\circ};$$

$$Me - me \rightarrow Me^{m+};\ E_2^{\circ};$$

$$Me^{n+} - (m-n)e \rightarrow Me^{m+};\ E_3^{\circ}, \qquad (1)$$

где n – низшая степень окисления; m – высшая степень окисления.

Согласно первому закону термодинамики сумма максимальных работ первого и третьего процессов должна быть равна максимальной работе второго процесса, т.е.

$$mFE_2^{\circ} = nF_1^{\circ} + (m-n)e\ FE_3^{\circ}, \qquad (2)$$

откуда

$$E_2^0 = \frac{\left| nE_1^{\circ} + (m-n)\ E_3^{\circ} \right|}{n}. \qquad (3)$$

Из этого следует, что потенциал растворения металла в форме высшей валентности лежит между потенциалами двух процессов, причем если $m = 2$, а $n = 1$, то E_2^0 лежит точно посредине двух других потенциалов, При этом могут иметь место два случая:

а) E_1^0 положительнее E_2^0 (случай растворения меди);

б) E_1^0 отрицательнее E_2^0 (случай растворения железа).

Следует учитывать, что в присутствии металла в растворе будет тот катион, потенциал которого в условиях электролиза более электроотрицателен.

При растворении железа это будет двухвалентный ион, т.к.

$$E_1^0 = -0{,}44\ \text{В}, \quad E_2^0 = -0{,}04\ \text{В}.$$

Во всех случаях образования металлом ионов разных валентностей при анодном растворении он будет переходить в форме обоих ионов. Концентрации их в растворе должны определяться равновесием

$$Me + Me^{2+} = 2\ Me^{+}, \text{ если } m = 2, \text{ а } n = 1;$$

$$2Me + Me^{3+} = 3\ Me^{+}, \text{ если } m = 3, \text{ а } n = 1. \quad (4)$$

Эти равновесные концентрации между ионами высшей и низшей валентности определяются соотношением потенциалов E_1^0 и E_2^0.

При анодном растворении железа (сталей), в случае применения стального анода,

соотношение равновесных концентраций в электролите между Fe^{2+} и Fe^{3+} можно вычислить по уравнению

$$E_1^0 + \left(\frac{RT}{2F}\right)\ln\left|Fe^{2+}\right| = E_2^0 + \left(\frac{RT}{3F}\right)\ln\left|Fe^{3+}\right|. \quad (5)$$

Принимая концентрацию (активность) двухвалентного железа равной 1 г-иону/л, получаем

$$-0,44 = -0,04 + \left(\frac{0,059}{3}\right)\lg\left|Fe^{3+}\right|$$

и

$$\lg\left|Fe^{3+}\right| - (-0,44 + 0,04)\cdot\frac{3}{0,059} = \quad (6)$$

$$= -6,7\cdot 3 = -20,1.$$

Следовательно, процесс перехода в раствор железа в форме трехвалентного иона столь незначителен, что им можно пренебречь и при анодном растворении железного электрода преимущественно образуются ионы двухвалентного железа.

Согласно диаграмме Пурбе (диаграмме электрохимического равновесия воды в системе железо – вода) (рис. 1), при величине pH = 7 и потенциале анода более положительном, чем 0,4 В, возможно устойчивое состояние двухвалентных ионов железа [11].

Электрохимический потенциал железного электрода по реакции: $Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$ в соответствии с уравнением Нернста описывается уравнением

$$E_{Fe/Fe^{2+}} = E^0_{Fe|Fe^{2+}} + 0,0259\lg a_{Fe^{2+}}, \quad (7)$$

где $a_{Fe^{2+}}$ – активность ионов железа, г-экв./л; $E^0_{Fe|Fe^{2+}}$ – стандартный электрохимический потенциал электрода, равный – 0,44 В.

Образование труднорастворимого гидрооксида железа вблизи анода описывается уравнением

$$Fe^{2+} + 2\,OH^- = Fe(OH)_2. \quad (8)$$

Гидроксид железа является труднорастворимым соединением. Активность ионов железа в растворе с pH = 7 ничтожна и может быть выражена через величину произведения растворимости $Fe(OH)_2$:

$$ПР_{Fe(OH)_2} = a_{Fe^{2+}}\cdot a^2_{OH^-},$$

откуда

$$a_{Fe^{2+}} = \frac{ПР_{Fe(OH)_2}}{a^2_{OH^-}}. \quad (9)$$

Электродные потенциалы и pH гидратообразования

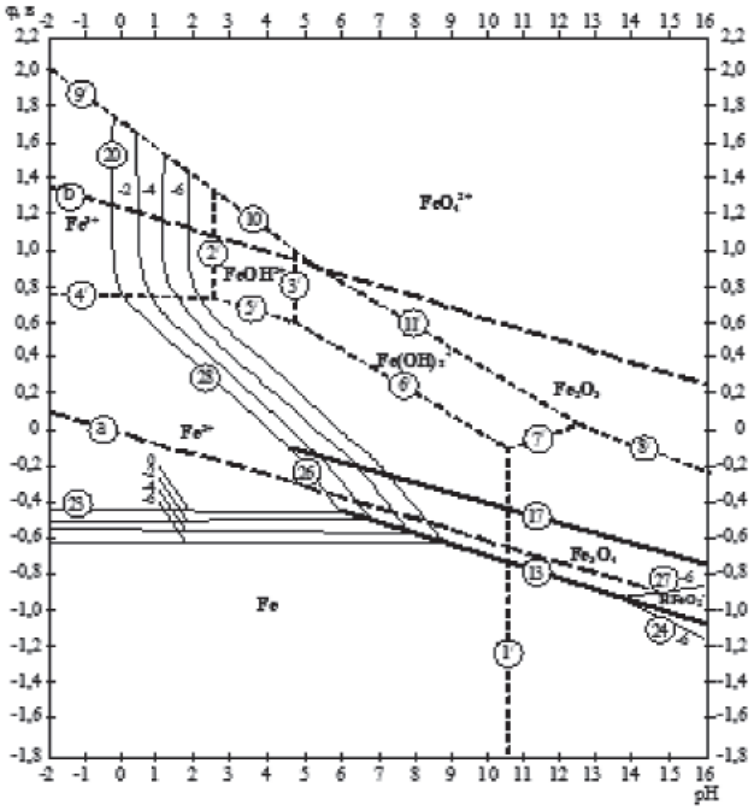


Диаграмма φ – pH для системы железо – вода при 25 °С (негидратированная форма окислов)

Значение ПР составляет $4{,}8\cdot10^{16}$ [10].

Подставив (6) в (7), получаем

$$E_{Fe/Fe^{2+}} = -0{,}44 + 0{,}0295\lg\frac{ПР_{Fe(OH)_2}}{a^2_{OH^-}} = \quad (10)$$

$$= -0{,}44 + 0{,}0295\ \lg 4{,}8\cdot10^{16} - 2\cdot\lg a_{OH}.$$

Отрицательный логарифм активности ионов OH^- является гидроксильным показателем pOH, подобно водородному показателю pH. При нейтральном значении pH = 7 гидроксильный показатель pOH также равен 7, поскольку всегда сумма pH + pOH = 14, тогда

$$E_{Fe/Fe^{2+}} = -0{,}44 + 0{,}0295\cdot\lg\left(4{,}8\cdot10^{-16}\right) +$$
$$+ 2\cdot 0{,}0295\cdot pOH = -0{,}44 + 0{,}0295\cdot\lg 4{,}8 -$$
$$- 16\cdot 0{,}0295 + 2\cdot 0{,}0295\cdot 7 = -0{,}44 + \quad (11)$$
$$+ 0{,}0295\cdot 0{,}68 - 16\cdot 0{,}0295 +$$
$$+ 2\cdot 0{,}0295\cdot 7 = -0{,}44 + 0{,}02 -$$
$$- 0{,}472 + 0{,}413 = -0{,}479\ В.$$

Приведенные выше расчетные значения равновесных потенциалов рассмотренных реакций характеризуют термодинамическую возможность протекания их в прямом или обратном направлениях.

Смещение потенциала электрода в область более положительных значений смещает равновесные процессы на электроде в анодную область – увеличится количество ионизирующихся атомов железа и, с возрастанием тока, протекающего через электрод, возрастает концентрация ионов железа, выходящих в прианодное пространство и последующих химических реакций данных ионов с противоионами, находящимися в растворе электролита.

При больших плотностях тока на аноде потенциал электрода достигает величин, при которых происходит окисление воды и прианодное пространство подкисляется – pH смещается в область меньшую 7, достигая величин 3–5. При этом согласно [14] процесс идет через

$$Fe + H_2O \rightarrow Fe(OH)^-_{ads} + H^+;$$

$$Fe(OH)^-_{ads} \rightarrow (FeOH)_{ads} + e;$$

$$Fe(OH)_{ads} + OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 - e. \quad (12)$$

В результате высока вероятность образования кристаллов окисногидрокисных соединений железа, имеющих размеры от 1 до 100 нм. Эти частицы имеют избыточную поверхностную энергию, в силу чего крайне неустойчивы и через образование и коагуляцию образующихся мицеллярных структур переменного состава стабилизируются [8]. При взаимодействии с электрическим и магнитным полями данные дисперсные структуры могут являться активными центрами кристаллизации процессов затворения, влияя в дальнейшем на структуру и механические свойства цементного камня.

При использовании алюминиевого анода в камере электрохимической активации, исходя из термодинамических предпосылок, можно рассмотреть систему: алюминий – водные растворы. В этом случае можно записать реакции, которые могут происходить с участием алюминия и его солей в воде:

$$Al = Al^{3+} + 3e; \quad (13)$$

$$Al + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3\ H^+ + 3e; \quad (14)$$

$$Al + 2H_2O = AlO^-_2 = 4H^+ + 3e; \quad (15)$$

$$Al^{3+} + 3OH^- = Al(OH)_3; \quad (16)$$

$$AlO_2^- + H_2O + H^+ = Al(OH)_3. \quad (17)$$

Для анализа воспользуемся стандартными величинами потенциалов Гиббса [7] для данных соединений с целью определения работы каждого из процессов.

В процессе растворения алюминия затрачивается энергия, зависящая от величины электродного потенциала.

Для реакции (13) величина работы составит

$$A_{станд} = \left(-dG^0_{Al^{3+}}\right) - \left(-dG^0_{Al}\right) = 480{,}23\ кДж/г\text{-}ион.$$

Величина стандартного потенциала алюминия $E^0 = -1{,}66$ В.

Если активность ионов Al^{3+} не равна нулю,

$$E = E^0 + \frac{RT}{3F\cdot\ln a_{Al^{3+}}} = \quad (18)$$

$$= -1{,}66 + 0{,}0197\ \lg a_{Al^{3+}}.$$

Величины стандартной работы образования

Вещество	Стандартная работа образования, ($-dG^0$, кДж/моль)
H_2O	236,73
OH^- (р-р)	156,99
Al^{3+} (р-р)	480,23
AlO^-_2 (р-р)	818,14
$Al(OH)_3$ (аморф.)	1135,42
$Al_2O_3\cdot3H_2O$ (гидроаргилит)	2315,94

Для реакции (14): величина $A_{станд}$ = 447,78 кДж/моль, следовательно

$$E^0 = -1{,}55 \text{ В}.$$

Считая, что $a_{Al} = a_{H_2O} = a_{Al(OH)_{3тв}} = 1$, получим

$$E = -1{,}55 - 0{,}059 \text{ pH}.$$

Для реакции (15) величина $A_{станд}$ = 360,503 кДж/моль или $E^0 = -1{,}262$ В.

Для иной концентрации:

$$\varphi = 1{,}262 + 0{,}0197 \lg a_{AlO_3^-} - 0{,}0788 \text{ pH}.$$

Для реакции (16) величина $A_{станд}$ = 206,763 кДж/моль.

Известна связь работы с константой равновесия реакции $A_{станд} = RT \lg K$.

Учитывая, что

$2{,}3 \cdot RT$ = 5695,674 Дж/моль·град.,

получим

$$A_{станд} = 5695{,}674 \cdot \lg K.$$

В рассматриваемом равновесии

$$K = \frac{a_{Al(OH)_3}}{a_{Al^{3+}} a^3_{OH^-}}.$$

Переменив знаки и учтя, что для твердого осадка гидроаргиллита $a_{Al(OH)_3} = 1$, получим

$$\lg a_{Al^{3+}} a^3_{OH^-} = -36{,}3.$$

Произведение активностей данных ионов представляет собой произведение растворимости гидраргиллита при образовании в растворе ионов Al^{3+} и $3 \cdot OH^-$.

В процессе восстановления водорода на катоде прикатодный раствор подщелачивается. В щелочной среде гидроокись алюминия в любой форме может растворяться с образованием алюмината AlO_2^-. Таким образом, для реакции (17) $A_{станд}$ = 83100 Дж/моль.

Отсюда

$$83100 = 5695{,}67 \lg K$$

или

$$\frac{83100}{5695{,}671} = \lg 1 \,|\, K = \lg a_{AlO_2^-} a_{H^+},$$

откуда $\lg a_{AlO_2^-} a_{H^+} = -14{,}6$.

Выражение под логарифмом также представляет собой произведение растворимости для гидроксида алюминия (гидроаргиллита). Начало образования осадка при увеличении pH найдем, исходя из величины константы равновесия (17).

Если

$$a_{Al^{3+}} = 1,$$

то

$$\lg a^3_{OH^-} = -36{,}3.$$

Но

$$a_{OH^-} = \frac{K_w}{a_{H^+}} = \frac{10^{-14}}{a_{H^+}}.$$

Тогда

$$\frac{\lg(10^{-143})}{a^3_{H^+}} = -36{,}3,$$

откуда

$$-42 - 3\lg a_{H^+} = -36{,}3$$

или pH = 42 – 36,3/3 = 1,9.

В более щелочных растворах должен появиться осадок гидраргилита. При дальнейшем увеличении щелочности раствора он стабилен в интервале pH от 1,9 до 14,6.

Зависимость потенциала алюминиевого электрода от кислотности раствора определяется диаграммой равновесия φ – pH для системы Al – H_2O представлена в виде диаграмм Пурбе [11].

В нейтральных водных растворах алюминий корродирует с определенной скоростью, возрастающей при увеличении анодной поляризации. И только при достижении достаточно положительного потенциала наступает пассивность поверхности алюминиевого электрода.

Накопление дисперсных частиц гидраргиллита в момент окисления алюминия обеспечивает образование мицеллярных структур, стабилизирующих эти частицы, и тем самым возможно их участие в процессах, где используется вода с образованными частицами гидраргиллита, в частности в процессах образования строительных растворов – использование электрохимически активированной воды.

Протекание электрического тока через воду сопровождается процессами на катоде – электроде, потенциал которого при этом смещается в область более отрицательных потенциалов относительно равновесного. По мере смещения происходят процессы восстановления структур, имеющих положительный заряд. Очередность восстановления определяется величиной заряда и концентрацией частиц, несущих данный заряд (ион, мицеллярная структура и др.).

При прохождении тока через воду (водные растворы) вероятно восстановление ионов водорода из молекул воды, не останавливаясь на стадиях разряда (Фольмер, Гейровский, Тафель), по интегральной схеме:

$$2H_2O + 2e \rightarrow 2OH^- + H_2. \qquad (19)$$

Поскольку ионы гидроксония обладают самой высокой подвижностью, то диффузионный ток по катионам водорода в чистой

воде достигается при pH > 1 и значительных плотностях тока. При восстановлении водорода из воды, определяющей скорость процесса, является стадия Фольмера – разряд адсорбированных на катоде атомов водорода [13].

Выделение водорода на катоде происходит при потенциале более отрицательном, чем обратимый потенциал *E,* отвечающий pH данного раствора:

$$E_н = RT/\ln a_н = -b^0\, pH. \qquad (20)$$

Величина водородного перенапряжения составляет значительную долю напряжения на ваннах при электролизе воды и хлоридных растворов. При увеличении плотности тока связь перенапряжения выделения водорода с плотностью тока выражается уравнением Тафеля:

$$df = a + b \lg i. \qquad (21)$$

Константа а соответствует перенапряжению водорода при плотности тока 1 А/см^2, константа *b* дает изменение перенапряжения при десятикратном изменении плотности тока. Величина а меняется в широких пределах при изменении природы катодного металла: от –0,1 В для платины до –1,5 В для свинца. Величина *б* меняется в более узких пределах от 0,03 до 0,12. Максимальное перенапряжение водорода наблюдается в нейтральных растворах и линейно уменьшается с отклонением pH в обе стороны от точки нейтральности.

Перенапряжение водорода уменьшается с ростом температуры и зависит от природы металла катода и плотности тока.

Таким образом, активно влияя на структуру водных систем и формы нахождения в них примесей, можно регулировать физико-химические свойства воды и тем самым изменять процессы структурообразования и свойства цементных композитов. Учитывая большое количество условий, оптимальные режимы обработки должны устанавливаться экспериментальным путем. При этом для определения пределов варьирования устанавливаются наиболее вероятные границы изменения отдельных параметров и их сочетаний.

Так, напряженность электрического поля при обработке воды может быть назначена исходя из того, что концентрация гидроксида металла при растворении материала электродов в результате электрохимических процессов увеличивается непропорционально напряженности электрического поля. Увеличение напряженности выше 50–60 В/см приводит к нелинейному увеличению концентрации гидроксида. Кроме того, условия безопасной работы установки по обработке воды с позиций охраны труда обязывают использовать напряжение 30–50 В/см.

При плотности тока от 1 до 5 мА/см^2 наступает равновесие между процессами растворения металла и образования пассивирующих пленок, и электрод растворяется равномерно, без пассивации. Увеличение плотности тока смещает равновесие в сторону образования пассивирующих слоев и приводит к полной пассивации электродов. Следовательно, плотность тока при обработке воды затворения электрическим полем необходимо поддерживать до 5 мА/см^2.

При увеличении продолжительности обработки воды происходит увеличение концентрации гидроксида металла. Время обработки может назначаться в пределах от долей секунд до нескольких десятков минут. В производственных условиях продолжительность обработки воды не должна задерживать основной процесс приготовления бетонной смеси, то есть время на обработку воды должно примерно равняться времени на дозирование компонентов, их загрузку и прочие операции.

Таким образом, при обработке воды затворения электрическим полем растворимых электродов наиболее вероятные границы изменения напряженности электрического поля должны находиться в пределах от 1 до 50 В/см, плотности тока – от 1 до 5 мА/см^2, продолжительности обработки – не более 1–20 мин. Точные значения расчетных параметров устанавливаются экспериментальным путем.

Список литературы

1. Бахар В.М. Электрохимическая активация. – М.: ВНИИИМТ, 1992. – 627 с.

2. Добош Д. Электрохимические константы. Справочник для электрохимиков. – М.: Мир, 1980. – 202 с.

3. Ерофеев В.Т. Долговечность цементных композитов на активированной воде / В.Т. Ерофеев, А.А. Матвиевский, Д.В. Емельянов и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 7. – С. 51–53.

4. Ерофеев В.Т. Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст / В.Т. Ерофеев, В.Т. Фомичев, Д.В. Емельянов и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2013. – Вып. 30(49). – С. 179–183.

5. Ерофеев В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения / В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина, А.А. Матвиевский // Строительные материалы. – М., 2007. – № 11. – С. 56–57.

6. Классен В. И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

7. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко. – Л.: Химия, 1967. – 184 с.

8. Кузнецова Т.В., Кудрешов И.В., Тимашов В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.

9. Левич В.Г. Успехи физ. наук. – 1966. – № 4. – С. 787–788.

10. Ребиндер П.А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ. – Матер. совещ. по химии цемента. – М.: Промстройиздат, 1956. – С. 125–138.

11. Справочник химика. Т. 3. – М.: Химия, 1964. – 774 с.

12. Улазовский В.А., Ананьина С.А. Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. – Волгоград. Волгоградский институт инженеров городского хозяйства, 1970. – 114 с.

13. Феттер К. Электрохимическая кинетика. – М.: Химия, 1967. – 860 с.

14. Флорианович Г.М., Соколова Л.А., Колотыркин Я.М. К вопросу о механизме анодного окисления железа. – М.: Электрохимия. – т. 3. – 1967. – 1359 с.

References

1. Bahar V.M. *Elektrohimicheskaya aktivaciya* [Electrochemical activation]. Moscow : VNIIIMT, 1992. 627 p.

2. Dobosh D. *Elektrohimicheskie konstanty. Spravochnik dlya elektrohimikov* [Electrochemical constants. A Handbook for electrochemical]. Moscow : *MIR*, 1980. 202 p.

3. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Emelyanov D.V., Judin P.V. *Dolgovechnost' cementnyh kompozitov na aktivirovannoj vode* [Durability of cement composites along a water]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2008. no. 7. pp. 51–53.

4. Erofeev V.T., Mitina E.A., Matvievskij A.A., Osipov A.K., Emelyanov D.V., Judin P.V. *Kompozicionnye stroitel'nye materialy na aktivirovannoj vode zatvorenija* [Composite building materials on an activated water mixing]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2007. no. 11. pp. 56–57.

5. Erofeev V.T., Fomichev V.T., Emelyanov D.V., Rodin A.I., Eremin A.V. *Vlijanie aktivirovannoj vody zatvorenija na strukturoobrazovanie cementnyh past* [The effect of activated water mixing structure of cement pastes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Volgograd state architectural and construction University]. Ser.: Construction and architecture. 2013. Vol. 30(49). pp. 179–183.

6. Klassen V.I. *Omagnichivanie vodnyh system* [The magnetised water systems]. Moscow : Chemistry, 1982. 296 p.

7. *Kratkii spravochnik fiziko-himicheskih velichin* [A brief Handbook of physical-chemical variables] / *Pod red. K.P. Mischenko*. Leningrad : Chemistry, 1967. 184 p.

8. Kuznecova T.V., Kudreshov I.V., Timashov V.V. *Fizicheskaya himiya vyajuschih materialov* [Physical chemistry binders]. Moscow : Higher school, 1989. 384 p.

9. Levich V.G. *Uspehi fiz. nauk* [Advances in physical Sciences]. 1966, no. 4. pp.787-788.

10. Rebinder P.A. *Fiziko-himicheskie predstavleniya o mehanizme shvatyvaniya i tverdeniya mineralnyh vyajuschih veschestv* [Physico-chemical views on the mechanism of setting and hardening of mineral binders]. *Mater. sovesch. po himii cementa* [Proceedings of meetings on the chemistry of cement]. Moscow : *Promstroiizdat*, 1956. pp. 125–138.

11. *Spravochnik himika* [Chemist's Handbook]. Vol. 3. Moscow : Chemistry, 1964. 774 p.

12. Ulazovskii V.A., Ananina S.A. *Vliyanie omagnichennoi vody zatvoreniya na processy kristallizacionnogo tverdeniya cementnogo kamnya* [Influence minichannel mixing water on the crystallization processes of hardening of the cement stone]. Volgograd. Volgograd Institute of engineers urban, 1970. 114 p.

13. Fetter K. *Elektrohimicheskaya kinetika* [Electrochemical kinetics]. Moscow: Chemistry, 1967. 860 p.

14. Florianovich G.M., Sokolova L.A., Kolotyrkin Ya.M. *K voprosu o mehanizme anodnogo okisleniya jeleza* [To the question about the mechanism of anodic oxidation of iron]. Moscow : Electrochemistry. Vol. 3. 1967. 1359 p.

Рецензенты:

Фокин Г.А., д.т.н., профессор кафедры «Физика и химия», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;

Монастырев П.В., д.т.н., профессор, директор института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 533.6.011.8 + 629.78

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

[1,2]Хлопков Ю.И., [2]Зея Мьо Мьинт, [2]Хлопков А.Ю.

[1]ФГУП ЦАГИ «Центральный аэрогидродинамический институт», Жуковский, e-mail: khlopkov@falt.ru;

[2]ФГОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», Долгопрудный

Наиболее актуальной задачей авиационно-космической техники является предсказание аэродинамических характеристик летательных аппаратов при очень высоких скоростях и на больших высотах. В настоящей статье разрабатывается исследование аэродинамических характеристик (АДХ) перспективных аэрокосмических летательных аппаратов локально-инженерным методом. Метод основан на так называемой гипотезе локальности, предполагающей, что поток импульса на элемент поверхности определяется местным углом его наклона к набегающему потоку. Целью настоящей работы является разработка методов вычисления АДХ аэрокосмических летательных аппаратов в разреженной атмосфере на всех участках траектории полет – от орбитального до посадочного режима. Представлены результаты расчета аэродинамических характеристик аэрокосмических летательных аппаратов при различных числах Рейнольдса.

Ключевые слова: инженерная методика, гиперзвуковое обтекание, аэрокосмический летательный аппарат, аэродинамика в переходном режиме

MODELLING OF AERODYNAMICS FOR PERSPECTIVE AEROSPACE VEHICLES

[1,2]Khlopkov Y.I., [2]Zay Yar Myo Myint, [2]Khlopkov A.Y.

[1]Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI), Zhukovsky, e-mail: khlopkov@falt.ru;

[2]Moscow Institute of Physics and Technology (state university), Dolgoprudny

The most urgent challenge in aerospace engineering is the prediction of the aerodynamic characteristics of aircraft at very high-speeds and at high altitudes. In this paper, develop a study of aerodynamic characteristics for advanced aerospace vehicles local engineering method. The method is based on the so-called hypothesis of locality, suggesting that the momentum flux on a surface element is determined by the local angle of inclination to the incident flow. The aim of this work is to develop method to calculate aerodynamic characteristics of aerospace vehicles in the rarefied atmosphere at all stage of the trajectories- from orbit flight to landing mode. The results of calculation of aerodynamic characteristics of aerospace vehicles at different Reynolds numbers are presented.

Keywords: engineering technique, hypersonic flows, aerospace vehicles, aerodynamics in transition regime

Для проектирования космических аппаратов необходимо знать аэродинамические характеристики вдоль всей траектории – от орбитального полета до посадочного режима. Значение этого фактора многократно возрастает, когда он применяется для построения быстрых инженерных методов расчета на этапе предварительного проектирования. Аэродинамические характеристики космического аппарата (КА) в свободномолекулярном режиме являются предельными значениями траектории наибольшей высоты и максимальной скорости полета и могут быть вычислены точно. Аэродинамические характеристики космического аппарата определяются столкновениями молекул набегающего потока газа с поверхностью без учета межмолекулярных столкновений, и для этого используются методы свободномолекулярной газовой динамики [2, 6, 7]. Исследование течений газа в переходной области между течениями сплошной среды и свободномолекулярным представляет собой достаточно сложную задачу. Для анализа аэродинамических характеристик КА в переходном режиме, необходимо решать полное интегро-дифференциальное уравнение Больцмана для функции распределения с семью независимыми переменными [7]. Единственными методами, позволяющими преодолеть трудности решения уравнения Больцмана, являются методы Монте-Карло [2].

Решение уравнения Больцмана при малых числах Кнудсена, особенно для сложных тел – задача чрезвычайно трудоемкая. В этой связи естественным является появление и развитие инженерных методов, обоснованных совокупным материалом экспериментальных, теоретических, численных результатов, дающих возможность предсказания аэродинамических характеристик (АДХ) сложных тел в переходном режиме. Метод основан на так называемой гипотезе

локальности, предполагающей, что поток импульса на элемент поверхности определяется местным углом его наклона к набегающему потоку. Обработка экспериментальных данных показывает, что точность теории локального взаимодействия вполне приемлема для инженерных расчетов аэродинамических характеристик широкого класса тел на этапе предварительного проектирования [1].

В конце девяностых – начале двухтысячных годов на факультете по инициативе профессора Ю.И. Хлопкова был разработан проект информационной технологи «АДАНАТ» – Аэродинамический Анализ обеспечения создания Авиационно-космической Техники [8]. В рамках проекта информационной технологии «АДАНАТ» разработан комплекс методов, обеспечивающих анализ и проектирование гиперзвуковых летательных аппаратов произвольной формы на важнейших участках траектории – необходимого инструмента при создании нового поколения авиационно-космической техники. Траектория воздушно-космической системы на этапах от схода с орбиты до приземления перекрывает все мыслимые режимы аэродинамического обтекания. В этой связи был разработан ряд базовых моделей, методов, алгоритмов и программ, разработанных или адаптированных на ФАЛТ и хорошо себя зарекомендовавших при расчёте аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА).

Целью настоящей работы является создание в применении программ для исследования аэродинамических характеристик аэрокосмических летательных аппаратов в разреженной атмосфере на всех участках траектории полет – от орбитального до посадочного режима.

Методика расчета аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов в переходном режиме

В настоящее время локальный метод условно можно использовать к вычислению аэродинамических характеристик воздушно-космических аппаратов на всех участках траектории полета – орбитальный полет, вход в атмосферу, торможение, аэродинамический маневр в плоскость посадочной полосы, снижение скорости до посадочной, приземление [8].

Обычно режимы полета связывают безразмерным числом Кнудсена или числом Рейнольдса. Метод состоит в построении функции аппроксимации при известных предельных значениях: свободномолекулярного $C(0)$ и сплошносредного, обычно моделируемого по методу Ньютона $C(\infty)$.

$$f(C,\mathrm{Re},\Gamma,t_w,\gamma,M,\ldots)\approx\frac{C(\mathrm{Re})-C(\infty)}{C(0)-C(\infty)}.$$

Функция f зависит от свойств газа, параметров набегающего потока, геометрии поверхности и др.

В данной работе используется классический метод локальности и предполагается

$$C_p=\sum_{k=0}^{R}A_k(vn)^k;$$

$$C_\tau=(v\tau)\sum_{k=1}^{R-1}B_k(vn)^k;$$

$$(vn)=v\cos\theta;\quad(v\tau)=v\sin\theta.$$

В предельном случае сплошной среды по методу Ньютона получаем

$$C_x=C_pn=A_2(vn)^2n.$$

В другом предельном свободномолекулярном случае получаем

$$C_x=C_{p_0}(vn)^2n+C_{\tau_0}(vn)\tau.$$

Трудности решения аэродинамических задач обтекания пространственных тел потоком разреженного газа вызвали развитие инженерных полуэмпирических методов, использующих накопленные экспериментальные и расчетные данные. Описываемый метод основан на гипотезе локальности, которая состоит в следующем: аэродинамические коэффициенты сил, действующих на элемент поверхности, зависят только от местного угла наклона θ этого элемента к вектору скорости набегающего потока, от характерного для всего тела числа $\mathrm{Re}_0=\rho_\infty V_\infty D/\mu_0$ и температурного фактора $t_w=T_w/T_0$, где $\mu_0=\mu(T_0)$ – коэффициент вязкости, вычисляемый по температуре торможения; T_0, T_w – температура торможения и стенки соответственно; D – диаметр сферы, основания конуса. Для элементарных сил давления и трения в форме работы [4]

$$p=p_0\sin^2\theta+p_1\sin\theta;$$

$$\tau=\tau_0\sin\theta\cos\theta;$$

$$p_0=p_\infty+[p_\infty(2-\alpha_n)-p_\infty]p_1/z;$$

$$p_1=z\exp\left[(-0{,}125+0{,}078\,t_w)\mathrm{Re}_{0\text{эфф}}\right];$$

$$\tau_0=3{,}7\sqrt{2}\left[R+6{,}88\exp\left(0{,}0072R-\right.\right.$$

$$\left.\left.-0{,}000016R^2\right)\right]^{-1/2}.$$

Здесь

$$z = \left(\frac{\pi(\gamma - 1)}{\gamma} t_w \right)^{1/2};$$

$$R = \mathrm{Re}_0 \left(0{,}75 t_w + 0{,}25 \right)^{-0{,}67};$$

$$\mathrm{Re}_{0\text{эфф}} = 10^{-m} \mathrm{Re}_0; \quad m = 1{,}8(1-h)^3,$$

где h – относительные поперечные размеры аппарата, равный отношению его высоты к длине. Здесь коэффициенты p_0, p_1, τ_0 (коэффициенты режима течения) зависят от числа Рейнольдса $\mathrm{Re}_0 = \rho_\infty V_\infty L/\mu_0$, в котором коэффициент вязкости μ_0 вычисляется при температуре торможения T_0. Кроме числа Рейнольдса наиболее важным параметром является температурный фактор $t_w = T_w/T_0$, где T_0, T_w – температура торможения и температура поверхности.

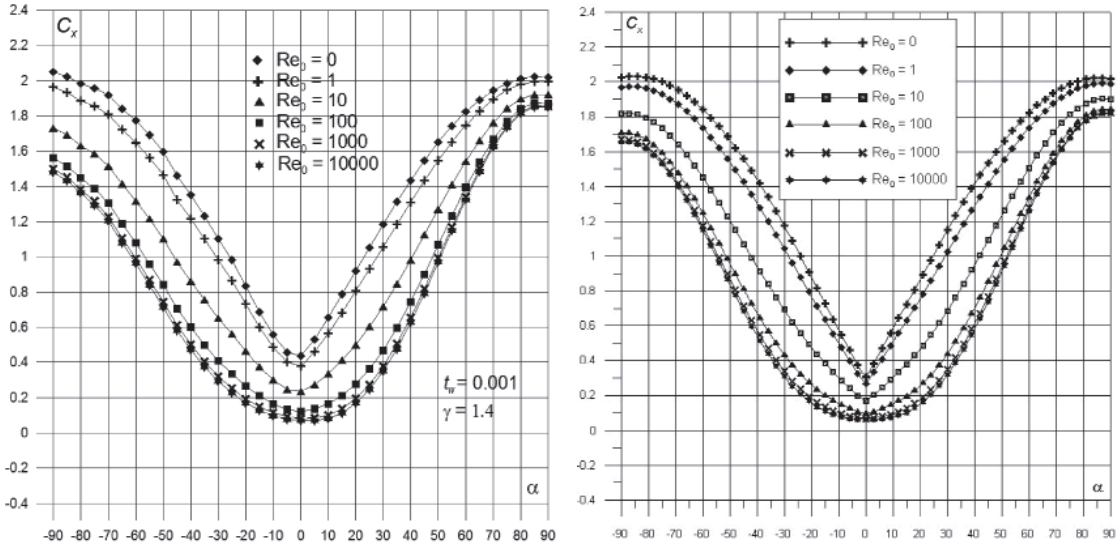
В рассматриваемых методах не учитывается влияние взаимодействия пограничного слоя с гиперзвуковым невязким потоком при больших числах Re_0. Расчетные и экспериментальные значения C_x конуса в переходном режиме согласуются удовлетворительно, данные по C_y согласуются значительно хуже. Таким образом, локальный метод расчета аэродинамических характеристик тел в гиперзвуковом потоке разреженного газа в переходном режиме дает хороший результат по C_x для широкого класса тел и качественно верный результат по C_y. При малых углах атаки ($\alpha < 5°$) точность результата ухудшается, в этом случае необходимо привлекать более полные модели, учитывающие наличие пограничного слоя.

Результаты исследования и их обсуждение

Представлены результаты расчета коэффициентов силы сопротивления C_x, подъемной C_y, момента тангажа m_z для аэрокосмических летательных аппаратов [3, 5, 9–14] (рис. 1). Расчеты проводились с использованием локального метода в диапазоне углов атаки α от –90° до 90°. Параметры задачи были следующие: отношение теплоемкостей $\gamma = 1.4$; температурный фактор $t_w = T_w/T_0 = 0{,}001$; число Рейнольдса $\mathrm{Re}_0 = 0, 1, 10, 100, 1000, 10000$.

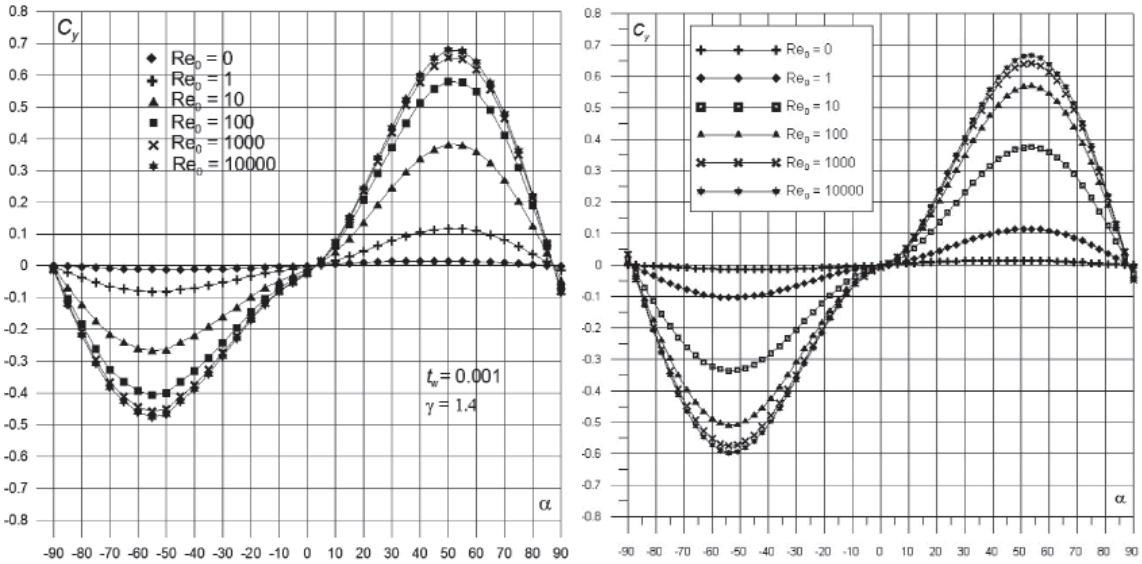
а б

Рис. 1. Геометрические представления вариантов аэрокосмических летательных аппаратов



а б

Рис. 2. Зависимость $C_x(\alpha)$ для воздушно-космических аппаратов а и б



а б

Рис. 3. Зависимость $C_y(\alpha)$ для воздушно-космических аппаратов а и б

На рис. 2 и 3 представлены зависимости $C_x(\alpha)$, $C_y(\alpha)$ при различных значениях числа Рейнольдса для воздушно-космических аппаратов а и б. Из этих результатов видно, что с увеличением числа Рейнольдса коэффициент сопротивления тела уменьшается (что можно объяснить уменьшением нормальных и касательных напряжений $p_1(\mathrm{Re}_0)$ и $\tau_0(\mathrm{Re}_0)$). При больших числах Рейнольдса $\mathrm{Re}_0 \geq 10^6$ характеристики почти не изменяются.

Зависимость $C_y(\alpha)$ растает с увеличением числа Рейнольдса (что можно объяснить увеличением нормальных и касательных напряжений $p_1(\mathrm{Re}_0)$ и $\tau_0(\mathrm{Re}_0)$). Значения $m_z(\alpha)$ весьма чувствительны к изменению числа Рейнольдса.

Заключение

Проведено исследование аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов в потоке разреженного газа методом по гипотезе локальности с привлечением полуэмпирических теорий. Представлены результаты расчетов локальным методом аэродинамических характеристик аэрокосмических летательных аппаратов в режиме гиперзвукового течения при различных значениях числа Рейнольдса Re_0. Предложенная методика хорошо зарекомендовала себя для расчета гиперзвукового обтекания выпуклых не очень тонких и пространственных тел на этапе предварительного проектирования. Таким образом, локально-инженерный метод можно использовать при исследовании аэродинамических характеристик гиперзвуковых летательных аппаратов в переходном режиме.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (РНФ проект № 14-11-00709).

Список литературы

1. Баранцев Р.Г., Васильев Л.А и др. Аэродинамический расчет в разреженном газе на основе гипотезы локальности // Аэродинамика разреженных газов: сб. ст. / ЛГУ – Л., 1969. – Вып. 4.

2. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И. Методы Монте-Карло в механике жидкости и газа. – М.: Азбука, 2008.

3. Ваганов А.В., Дроздов С.М., Дудин Г.Н., Косых А.П., Нерсесов Г.Г., Пафнутьев В.В., Челышева И.Ф., Юмашев В.Л. Численное исследование аэродинамики перспективного возвращаемого космического аппарата // Ученые записки ЦАГИ. – 2007. – Т. XXXVIII, – № 1–2. – С. 16–26.

4. Галкин В.С., Ерофеев А.И., Толстых А.И. Приближенный метод расчета аэродинамических характеристик тел в гиперзвуковом разреженном газе. // Труды ЦАГИ. – 1977. – Вып. 1833.

5. Зея М.М., Хлопков А.Ю. Аэродинамические характеристики летательного аппарата сложной формы с учетом потенциала взаимодействия молекулярного потока с поверхностью // Ученые Записки ЦАГИ. – 2010. – Т. XVI. – № 5. – С. 33–45.

6. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория. – М.: Наука, 1967.

7. Хлопков Ю.И. Статистическое моделирование в вычислительной аэродинамике. – М.: МФТИ, 2006.

8. Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л., Зея Мьо Мьинт, Хлопков А.Ю. Введение в специальность II. Высокоскоростные летательные аппараты. – М.: МФТИ, 2013. – 192 с.

9. Beloserkovskii O.M., Khlopkov Yu.I. Monte Carlo methods in mechanics of fluid and gas. World Scientific publishing Co. Pte. Ltd. – New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, 2010. – 268 p.

10. Khlopkov Yu.I., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Aerodynamic Investigation for Prospective Aerospace Vehicle in the Transitional Regime // International Journal of Aeronautical and Space Sciences. – 2013. – Vol. 14. – № 3. – P. 215–221.

11. Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint. Hypersonic Aerothermodynamic Investigation for Aerospace System // Proceeding of 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. – St. Petersburg, September 7–12, 2014.

12. Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu., Zay Yar Myo Myint, Tian Van Vyong Monte-Carlo Methods in Applied Mathematics and Computational Aerodynamics // Proceeding of 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. – St. Petersburg, September 7–12, 2014.

13. Khlopkov Yu.I, Zharov V.A., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Aerodynamic Characteristics Calculation for New Generation Space Vehicle in Rarefied Gas Flow // Universal Journal of Physics and Application. – 2013. – Vol. 1, № 3. – P. 286–289.

14. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu. Aerothermodynamics Investigation for Future Hypersonic Aerospace Systems // Conf. proc. 4th International Conference on Science and Engineering. – Yangon, Myanmar, 9–10 December, 2013.

References

1. Barantsev R.G., Vasil'ev L.A i dr. Aerodinamicheskii raschet v razrezhennom gaze na osnove gipotezy lokal'nosti // Aerodinamika razrezhennykh gazov: Sb. st. / LGU L., 1969, issue. 4.

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. Vaganov A.V., Drozdov S.M., Dudin G.N., Kosykh A.P., Nersesov G.G., Pafnutev V.V., Chelysheva I.F., Yumashev V.L. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2007, vol. 38, no. 1–2, pp. 16–26.

4. Galkin V.S., Erofeev A.I., Tolstykh A.I. *Trudy TsAGI*, 1977, issue. 1833. pp. 6–10.

5. Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2010, vol. 41, no. 5, pp. 33–45.

6. Kogan M.N. Dinamika razrezhennogo gaza [Rarefied gas dynamics]. Moscow, Science, 1967.

7. Khlopkov Yu.I. Statisticheskoe modelirovanie v vychislitel'noi aerodinamike [Statistical modeling in computational aerodynamics]. Moscow, MIPT, 2006.

8. Khlopkov Yu.I., Chelnyshev S.L., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu. Vvedenie v spetsial'nost' II. Vysokoskorostnye letatel'nye apparaty [Introduction to speciality II. High speed aircrafts]. Moscow, MIPT, 2013.

9. *Khlopkov Yu.I., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu.* Aerodynamic Investigation for Prospective Aerospace Vehicle in the Transitional Regime // International Journal of Aeronautical and Space Sciences, Korea, 2013. Vol. 14. no. 3. pp. 215–221.

10. *Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint.* Hypersonic Aerothermodynamic Investigation for Aerospace System // Proceeding of 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, St. Petersburg, September 7–12, 2014. (USB)

11. *Khlopkov Yu.I., Chernyshev S.L., Zay Yar Myo Myint.* Hypersonic Aerothermodynamic Investigation for Aerospace System // Proceeding of 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, St. Petersburg, September 7–12, 2014.

12. *Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu., Zay Yar Myo Myint, Tian Van Vyong* Monte-Carlo Methods in Applied Mathematics and Computational Aerodynamics // Proceeding of 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, St. Petersburg, September 7–12, 2014.

13. *Khlopkov Yu.I, Zharov V.A., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu.* Aerodynamic Characteristics Calculation for New Generation Space Vehicle in Rarefied Gas Flow // Universal Journal of Physics and Application, 2013, Vol. 1, no. 3, pp. 286–289.

14. *Zay Yar Myo Myint, Khlopkov Yu.I., Khlopkov A.Yu.* Aerothermodynamics Investigation for Future Hypersonic Aerospace Systems // Conf. proc. 4th International Conference on Science and Engineering, Yangon, Myanmar, 9–10 December, 2013.

Рецензенты:

Боголепов В.В., д.ф.-м.н., профессор, ФГУП ЦАГИ, г. Жуковский;

Липатов И.И., д.ф.-м.н., профессор, начальник отдела, ФГУП ЦАГИ, г. Жуковский.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 621.316.722

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Хохлов Ю.И., Дудкин М.М., Сафонов В.И., Лонзингер П.В.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, e-mail: admin@susu.ac.ru

Выполнено экспериментальное исследование трансформатора с векторным управлением с использованием лабораторного стенда на примере однофазной схемы. Показана возможность плавного регулирования выходного напряжения трансформатора при векторном управлении. Управление осуществлялось посредством внесения синхронизированного с питающей сетью напряжения управления. Напряжение управления было получено устройством, основными элементами которого являются два активных преобразователя с широтно-импульсной модуляцией, соединенные общим звеном постоянного тока. Получены экспериментальные внешние характеристики трансформатора, которые качественно совпадают с теоретическими зависимостями. Показана линейность регулировочных характеристик исследуемого трансформатора. Получены временные зависимости тока и напряжений на элементах установки, также качественно совпадающие с теоретическими.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, силовой трансформатор, векторное управление, регулирование напряжения нагрузки, широтно-импульсная модуляция

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POWER TRANSFORMER WITH VECTORIAL CONTROL

Khokhlov Y.I., Dudkin M.M., Safonov V.I., Lonzinger P.V.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: admin@susu.ac.ru

An experimental investigation of a power transformer with a vectorial control was implemented. The research has done in one-phase case by using of laboratory equipment. A possibility of a smooth power transformer's output voltage adjustment with using the vectorial control was show. An adjustment was realized by mean of introducing of a synchronized with mains supply control voltage. The control voltage was created by means of a control device. Main part of the device are two pulse-width modulation converters connected by common DC bus. Output performances of the power transformer those correspond to the transformers' theory were obtained. A linear relationship of a device's regulating performance was displayed. Time dependences of transformer's voltages and current were ploted. The dependences are also correspond to the theory.

Keywords: experimental investigation, power transformer, vectorial control, electrical load voltage regulation, pulse-width modulation

Использование регулирования под нагрузкой (РПН) и переключения без возбуждения (ПБВ) для регулирования напряжения силовых трансформаторов обладает рядом недостатков, таких как дискретность регулирования, невозможность компенсации реактивной мощности, износ трансформаторного масла и механических контактов и т.п. Развитие силовой электроники позволило создавать более совершенные устройства регулирования [3]. В [6] описан трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения. В [4] рассматривается устройство для плавного регулирования вторичного напряжения силового трансформатора, содержащее ведомый сетью обратимый преобразователь, а также два автономных инвертора, работающих в 180-градусном режиме.

В работе [7] предложен, а затем теоретически исследован трансформатор с векторным управлением [5], в котором напряжение управления создается устройством состоящим из двух активных преобразователей, соединенных звеном постоянного тока. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию такого трансформатора.

Материалы и методы исследования

Ввиду отсутствия в лаборатории трехфазного оборудования эксперимент проводился в однофазном исполнении. Лабораторная установка (рис. 1) состоит из исследуемого трансформатора (1) с активным сопротивлением нагрузки (2) и устройства векторного управления (3)–(12). Питание установки осуществляется от одной из фаз напряжения сети.

Трансформатор (9) включен последовательно с источником напряжения сети. Для регулирования напряжения на выходе трансформатора (9) используется импульсный преобразователь электроэнергии [1], состоящий из активного выпрямителя (4) и автономного инвертора напряжения (6). Между собой преобразователи (4) и (6) соединены на стороне постоянного тока при помощи емкостного накопителя (5) (рис. 1). Силовые блоки преобразователей напряжения (4) и (6) представляют собой

однофазные мосты, выполненные на *IGBT* транзисторах со встречно-включенными диодами и работающих в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Подключение активного выпрямителя напряжения (4) к сети осуществляется при помощи электромагнитного фильтра (3), обеспечивающего подавление высокочастотных гармоник, соответствующих частотному спектру широтно-импульсной модуляции преобразователя.

Активный выпрямитель (4) в системе выполняет две основные функции:

1) работает на сеть переменного тока, обеспечивая двунаправленный поток мощности с высокими энергетическими показателями ($\cos\varphi \approx 1{,}0$ и коэффициент мощности $\chi \approx 1{,}0$), что достигается за счет формирования синусоидального тока, совпадающего по фазе или противофазного напряжению сети;

2) стабилизирует постоянное напряжение на выходе.

Система управления АВН (4) построена по принципу подчиненного регулирования с внутренним контуром тока и внешним контуром напряжения [1, 2].

Автономный инвертор напряжения (6) преобразует постоянное напряжение в регулируемое переменное с частотой напряжения сети. Синхронизация системы управления (12) с частотой напряжения сети осуществляется при помощи датчика напряжения (10). Регулирование амплитуды сигнала задания осуществляется потенциометром (11). Выделение основной гармоники напряжения с выхода импульсного преобразователя (6) производится пассивным LC-фильтром (7). Переключение силовых транзисторов преобразователя (6) осуществляется в режиме ШИМ по несимметричному закону управления (однополярная модуляция) [2], что позволяет уменьшить пульсации тока на выходе в два раза по сравнению с симметричным законом, что положительно сказывается на массогабаритных размерах LC-фильтра (7). Резистор (8) предназначен для предотвращения опасных перенапряжений, которые могут возникнуть в процессе включения установки (рис. 1).

В лабораторной установке в качестве импульсного преобразователя электроэнергии используется модуль «Транзисторный преобразователь», мнемосхема которого приведена на рис. 2. Основные типы и параметры силового оборудования экспериментальной установки (рис. 1) приведены в таблице.

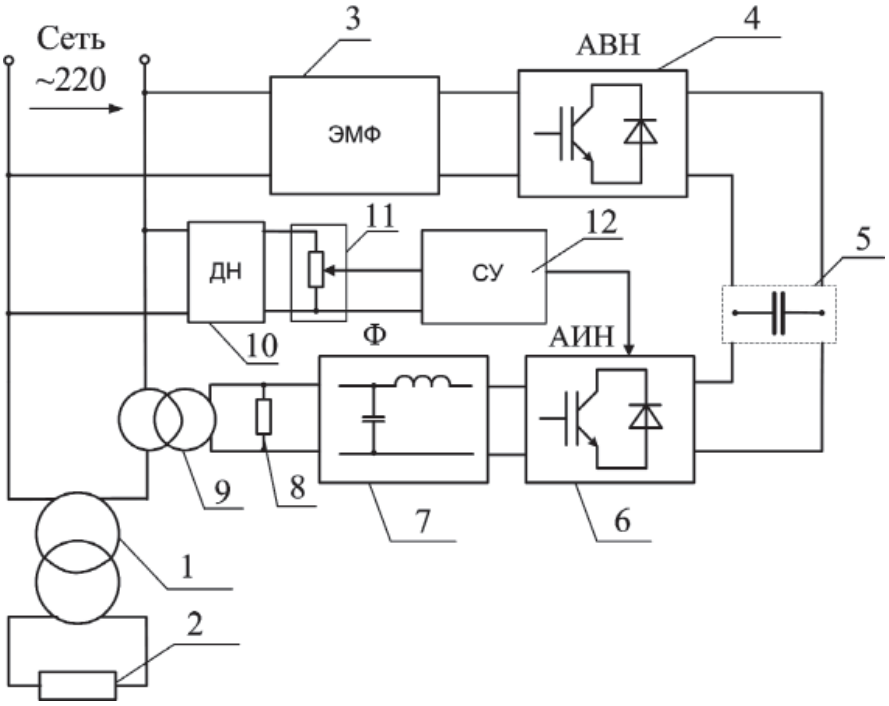


Рис. 1. Схема экспериментальной установки трансформатора с векторным управлением

Тип оборудования	Параметры
Исследуемый трансформатор (1)	Лабораторный трансформатор. 220/250 В. Сопротивления первичной обмотки: R_1 = 17 Ом; X_1 = 12 Ом
Активная нагрузка (2)	Дискретное изменение в диапазоне 400–1600 Ом
Импульсный преобразователь энергии (3)–(6)	Напряжение питания ~220 В, мощность 300 ВА, напряжение на выходе до ~250 В
LC-фильтра (7)	L = 10 мГн, C = 2 мкФ
Резистор (8)	R = 1600 Ом
Понижающий трансформатор (9)	ОСМ1-0,063 ВА – 220 В – 42 В

Измерение напряжений (токов), а также осциллографирование временных зависимостей осуществлялось при помощи информационно-измерительной системы стенда, включающей измерительные приборы (мультиметры, амперметры), датчики напряжения (тока), плату сопряжения датчиков с компьютером и программное обеспечение *Delta Profi*.

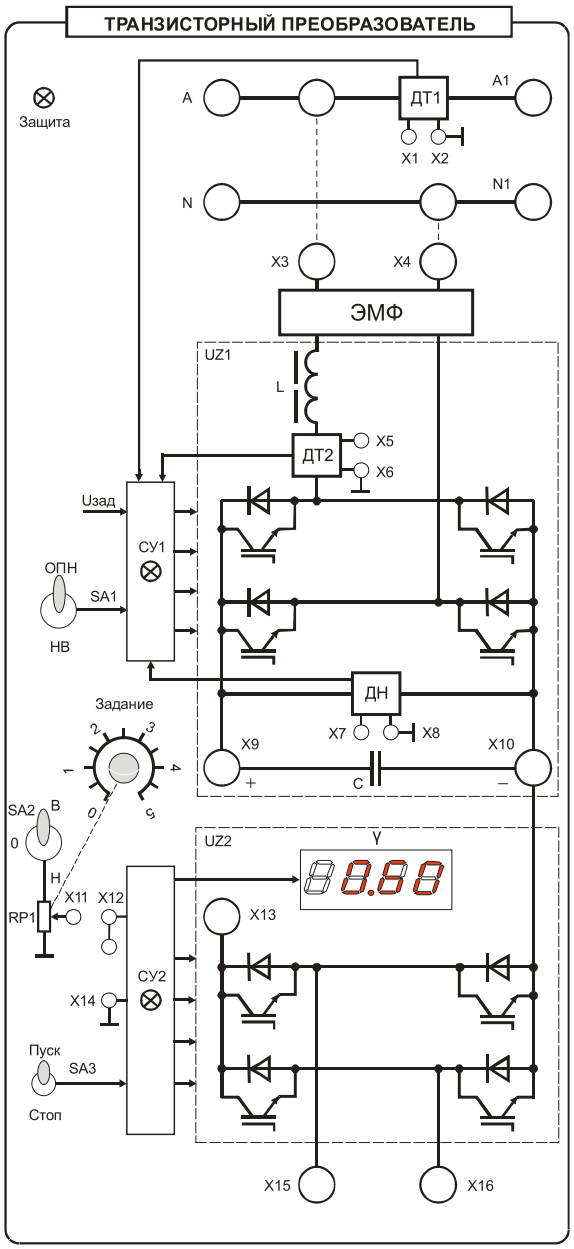


Рис. 2. Мнемосхема транзисторного преобразователя

Таким образом, посредством применения лабораторной установки (рис. 1) мы получили возможность формировать регулируемое, синхронизированное с сетью напряжение управления, вносимое в цепь питания трансформатора (1) последовательно с напряжением сети.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3 приведены экспериментальные внешние характеристики исследуемого трансформатора $U = f(I)$ при различных значениях коэффициентов модуляции АИН μ для двух режимов работы:

1) ρ = 0° – напряжение управления (выход трансформатора (9)) находится в фазе с напряжением сети;

2) ρ = 180° – напряжения управления и сети находятся в противофазе. Здесь U, I – действующие значения напряжения и тока на выходе исследуемого трансформатора (1) соответственно. Для каждого коэффициента модуляции μ = 0,5 (опыты 3 и 4), μ = 0,63 (опыты 2 и 5), μ = 0,75 (опыты 1 и 6) проводилась серия из 3 опытов. На рис. 3 (точки) приведены экспериментальные данные для одной серии опытов.

Для каждого опыта построена прямая регрессионная зависимость $U(I) = U_{XX} - ZI$, коэффициенты в которой получены методом наименьших квадратов. Здесь U_{XX} и Z – напряжение холостого хода и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора. Правильность выбора функции регрессии была подтверждена расчетом коэффициента корреляции, значение которого для всех опытов превышало 0,996. Относительные ошибки в определении коэффициентов для каждого опыта составляли не более 2,2 % (для U_{XX}) и не более 14 % (для Z). На рис. 3 прямыми показаны линии регрессии.

Мягкость внешних характеристик исследуемой системы объясняется высокими значениями сопротивлений обмоток трансформаторов (1) и (9).

Расчетные значения коэффициентов для всех опытов U_{XX} использовались для построения регрессионной зависимости $U_{XX}(\mu) = E - \Delta E\mu$. Правильность выбора функции регрессии также была подтверждена расчетом коэффициента корреляции, значение которого было равно 0,988. Относительные ошибки в определении коэффициентов составляли 0,7 % (для E) и 7,6 % (для ΔE).

На рис. 4 регулировочная характеристика трансформатора с векторным управлением на холостом ходу $U_{XX}(\mu)$ показана точками для расчетных значений U_{XX} для каждого из опытов и линией для рассчитанной регрессионной функции. На рис. 4 условно положительным значениям коэффициента модуляции μ соответствует режим работы ρ = 0°, когда напряжения управления и сети совпадают по фазе, а условно отрицательным μ – режим ρ = 180° при противофазных напряжениях.

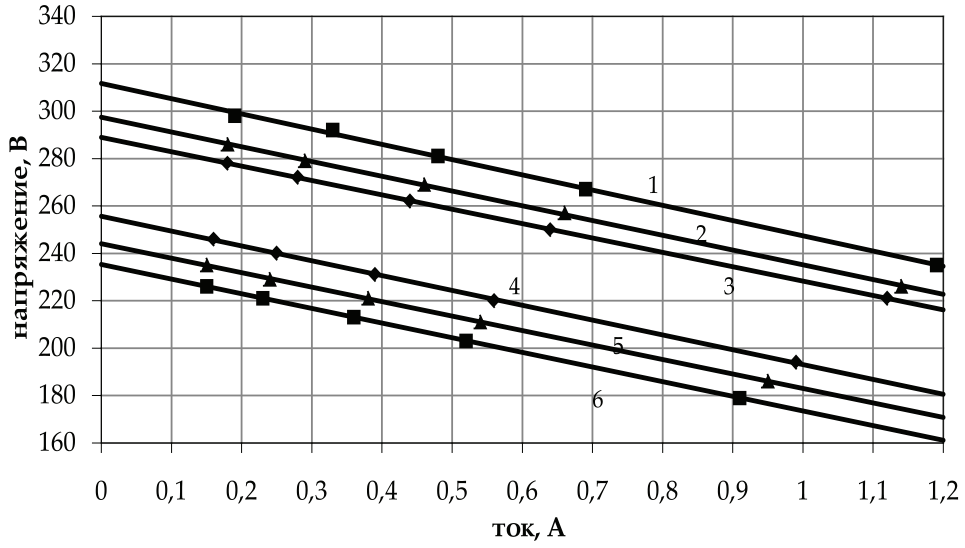


Рис. 3. Экспериментальные внешние характеристики исследуемого трансформатора (1 – μ = 0,75, ρ = 0°; 2 – μ = 0,63, ρ = 0°; 3 – μ = 0,5, ρ = 0°; 4 – μ = 0,5, ρ = 180°; 5 – μ = 0,63, ρ = 180°; 6 – μ = 0,75, ρ = 180°)

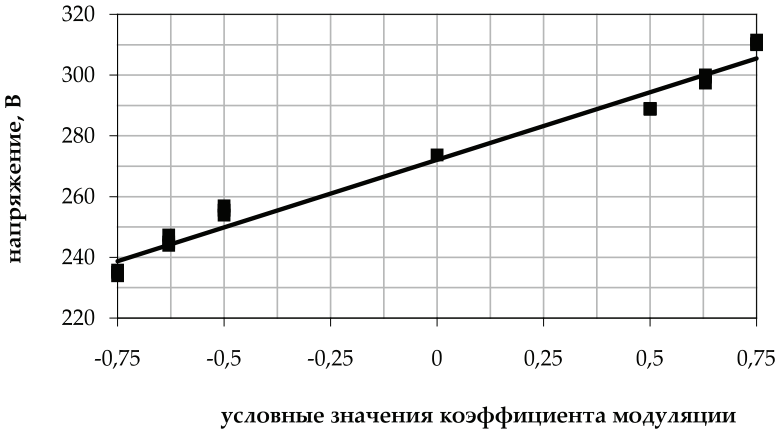


Рис. 4. Регулировочная характеристика трансформатора с векторным управлением

Значения напряжения холостого хода при отсутствии регулирования E и вольтодобавочной ЭДС ΔE были измерены вольтметром с относительной ошибкой 1,5 %. В обоих случаях результаты измерений попали в доверительный интервал, полученный при статистической обработке опытных данных.

Теория трансформатора с векторным управлением [5] была развита с учетом допущений, характерных для мощных высоковольтных энергетических установок, при описании электромагнитных процессов в которых пренебрегают активными сопротивлениями. В экспериментальном исследовании на учебном лабораторном стенде это допущение не выполняется. Поэтому сравнение теоретических и экспериментальных результатов возможно выполнить только качественно.

Проведенная статистическая обработка экспериментальных данных позволяет учесть все случайные и систематические ошибки, допущенные при проведении эксперимента. Результаты статистической обработки свидетельствуют об отсутствии ошибочных данных в исходной выборке. В результате статистической обработки экспериментальных данных установлено, что нагрузочная характеристика трансформатора является линейной функцией, что соответствует его теории при общепринятых допущениях. Также установлено, что зависимость $U_{XX}(\mu)$ является линейной функцией, что соответствует теории активных преобразователей с широтно-импульсной модуляцией.

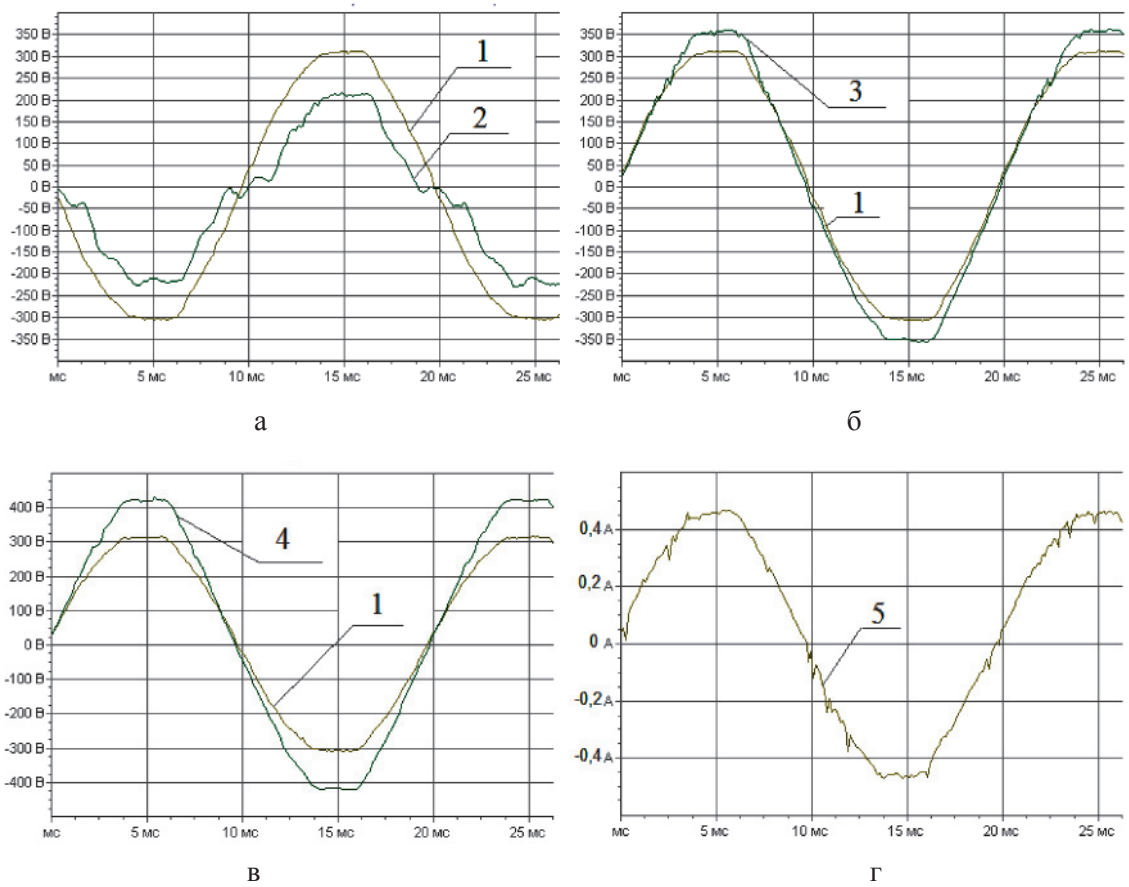


Рис. 5. Осциллограммы:
1– напряжения сети; 2– напряжения управления;
3 – напряжения на входе исследуемого трансформатора;
4 – напряжения на выходе исследуемого трансформатора; 5 – тока сети

На рис. 5 приведены осциллограммы токов и напряжений на элементах исследуемой схемы. Данные были получены при $\rho = 0°$ и $\mu = 0{,}75$. На осциллограммах видно, что напряжение управления (2) синфазно напряжению сети (1). Анализ полученных осциллограмм с учетом уменьшения амплитуды напряжения управления в соответствии с коэффициентом трансформации $K_T = 220/42$ трансформатора (9) показал адекватность результатов общим законам электротехники, записанных для первой гармоники. В напряжении управления (рис. 5, а) очевидно наличие канонических высших гармоник, что объясняется ограничениями минимального и максимального коэффициентов заполнения включения силовых ключей преобразователя (6), а также искажениями формы сигнала управления (напряжения сети) на входе системы управления (12). Ток питающей сети практически синусоидален и находится в фазе с напряжением питающей сети.

Выводы

1) экспериментально продемонстрирована возможность плавного изменения выходного напряжения трансформатора, осуществляемого устройством векторного управления;

2) полученные внешние характеристики трансформатора с векторным управлением качественно согласуются с теоретическими зависимостями;

3) показана линейность регулировочной характеристики исследуемого трансформатора;

4) временные зависимости электромагнитных процессов, протекающих в исследуемом устройстве, качественно согласуются с теоретическими зависимостями.

Список литературы

1. Дудкин М.М. Энергосберегающие технологии в испытательных стендах с использованием однофазных обратимых преобразователей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 5–18.

2. Дудкин М.М. Энергетические характеристики однофазных обратимых преобразователей напряжения с различными законами модуляции // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 2 (38). – С. 25–32.

3. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 672 с.

4. Климаш В.С., Симоненко И.Г. Устройство для стабилизации напряжения трансформаторной подстанции // Патент RU 2159004.

5. Сафонов В.И., Константинов В.Д., Лонзингер П.В. Принцип действия трансформатора с векторным управлением // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – http://www.science-education.ru/116-12939 (дата обращения: 26.01.2014).

6. Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., Липужин И.А. Моделирование энергоэффективных режимов работы цифровой электрической подстанции // Федоровские чтения – 2013. XLIII Международная научно-практическая конференция. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – С. 155–159.

7. Хохлов Ю.И., Лонзингер П.В., Сафонов В.И. Схемные решения силовых трансформаторов с векторным управлением // Федоровские чтения – 2013. XLIII Международная научно-практическая конференция – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – С. 85–87.

References

1. Dudkin M.M., Jenergosberegajushhie tehnologii v ispytatel'nyh stendah s ispol'zovaniem odnofaznyh obratimyh preobrazovatelej // Vestnik JuUrGU. Serija «Jenergetika». 2013. T. 13. no. 1. pp. 5–18.

2. Dudkin M.M. Jenergeticheskie harakteristiki odnofaznyh obratimyh preobrazovatelej naprjazhenija s razlichnymi zakonami moduljacii // Prakticheskaja silovaja jelektronika. 2010. no. 2 (38). pp. 25–32.

3. Zinov'ev G.S. Osnovy silovoj jelektroniki. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. 672 p.

4. Klimash V.S., Simonenko I.G. Ustrojstvo dlja stabilizacii naprjazhenija transformatornoj podstancii // Patent RU 2159004.

5. Safonov V.I., Konstantinov V.D., Lonzinger P.V. Princip dejstvija transformatora s vektornym upravleniem // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 2. http://www.science-education.ru/116-12939 (data obrashhenija: 26.01.2014).

6. Sosnina E.N., Bedretdinov R.Sh., Lipuzhin I.A. Modelirovanie jenergojeffektivnyh rezhimov raboty cifrovoj jelektricheskoj podstancii // Fedorovskie chtenija 2013. XLIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2013. pp. 155–159.

7. Hohlov Ju.I., Lonzinger P.V., Safonov V.I. Shemnye reshenija silovyh transformatorov s vektornym upravleniem // Fedorovskie chtenija 2013. XLIII Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2013. pp. 85–87.

Рецензенты:

Ганджа С.А., д.т.н., профессор, декан энергетического факультета, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск;

Воронин С.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика и электромеханические системы», ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 12.02.2015.

УДК 621.316

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА В КОЛЛЕКТОРНОЙ ПЛАСТИНЕ НА НАГРЕВ КОЛЛЕКТОРА

Чуйко А.Д., Христосенков С.А., Петуров В.И.

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения» Федерального агентства железнодорожного транспорта, Чита, e-mail: y210672@gmail.com

Проведен анализ влияния распределения плотности тока в коллекторной пластине на нагрев коллектора тягового электродвигателя. Были приняты следующие допущения в модели, такие как сила нажатия щетки на коллектор, внешние факторы (пыль, газ, избыточная влажность, низкая температура), марка щётки не подходит к условиям работы машины (слишком толстый слой политуры, слишком большая или слишком малая плотность тока в щётках, вентиляция и т.д.), двухмерная модель системы «коллектор – щетка – петушок» вместо трехмерной. По результатам моделирования получены следующие выводы. При обосновании выбора источников выделения тепла необходимо учитывать факт распределения плотности тока в коллекторной пластине. Большинство методик расчетов распределения тепла в коллекторе (например, метод тепловых схем замещения) не учитывают геометрию коллектора и являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов. Максимальное тепловыделение при качественной пайке составляет 496,717 Вт, что соответствует плотности тока равной 168,475 А/м^2. С учетом вышеизложенного возникает необходимость в расчете модели с использованием метода конечных элементов в программной среде трехмерного моделирования с целью исследования влияния рассмотренного типа дефекта на нагрев коллектора. По полученным данным моделирования выявлены условные тепловые зоны, зависящие от плотности тока в рассматриваемых участках.

Ключевые слова: коллектор, плотность тока, нагрев, тяговый электродвигатель

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE CURRENT DENSITY DISTRIBUTION IN THE COLLECTOR PLATE FOR HEATING COLLECTOR

Chuyko A.D., Christosenkov S.A., Peturov V.I.

Trans-Baikal Railway Institute, Chita, e-mail: y210672@gmail.com

The analysis of the relationship of the current density distribution in the collector plate for heating the collector of the traction motor. Adopted the following assumptions in the model such as pressure of the brush on the =manifold, external factors (dust, gas, excessive humidity, low temperature), brand brush is not suitable to the working conditions of the machine (too thick layer of varnish, too big or too small, the current density in the brushes, ventilation and so on). Two-dimensional model system «collector – brush – cock» instead of the three. According to simulation results obtained the following conclusions. When substantiation of a choice of sources of heat must take into account the fact that the current density distribution in the collector plate. Most of the methods of calculations of a heat distribution in the manifold methods such as a method of thermal circuits) do not take into account the geometry of the manifold and is less accurate than the finite element method. The maximum dissipation in high-quality soldering is 496,717 W, which corresponds to a current density equal 168,475 A/m^2. Considering the above, a need arises in the model calculation using the finite element method in the software environment of three-dimensional modeling study of the influence of defect type on the heat collector. According to the data modeling revealed conventionally, thermal zone-dependent current density in the considered areas.

Keywords: reservoir, the current density, heat, and traction motor

Тяговые электродвигатели выходят из строя из-за проявления различных неисправностей и типов дефектов. Согласно статистическим данным по отказам тяговых электрических двигателей (ТЭД) одной из наиболее часто встречающихся разновидностей повреждений ТЭД является выплавление припоя из петушков коллектора [8]. Работы в области разработки методов и средств диагностирования тяговых электродвигателей выполнялись учеными и специалистами ВНИИЖТ, вузов железнодорожного транспорта, а также силами специалистов локомотиворемонтных заводов и депо. Существуют различные направления в разработке методов диагностики тяговых электродвигателей, что объясняется разнообразием возможных неисправностей и типов дефектов ТЭД. В соответствии с правилами ремонта электрических двигателей техническое состояние паяного соединения считается удовлетворительным при степени пропайки контактного соединения не менее 80% [5, 6], а превышение температуры является браковочным состоянием коллектора при оценке технического состояния якоря [9]. При некачественной пайке происходит увеличение переходного сопротивления в месте соединения и, как следствие, значительный нагрев, описываемый законом Джоуля – Ленца [3]. Для разработки методики диагностирования

паяных соединений петушков коллектора возникает необходимость в создании и исследовании тепловой нестационарной модели коллектора ТЭД. Существуют различные методы расчета температурных полей двигателей постоянного тока, обладающие своими достоинствами и имеющие также свои недостатки, обусловленные допущениями, принятыми в математических моделях. Основные подходы к созданию математических моделей и выбору программной среды моделирования приведены в [2].

При анализе существующих методик тепловых расчетов был сформулирован вывод, что существующие методы определения температурного поля, не учитывающие геометрию коллектора, являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов. Такие методы, как, например, метод тепловых схем замещения, имитирующий только пути передачи тепловых потоков, не дают полной картины теплограммы коллектора, а определяют лишь средние значения температуры отдельных элементов. При расчете теплового поля коллектора методом тепловых схем замещения используются выражения для расчета нагревания однородного тела, при этом коллектор в действительности не является однородным телом, так как в своем составе имеет не только медные коллекторные пластины, но и миканит, имеющий свою теплопроводность отличной от теплопроводности меди. Также возможно использование других композиционных материалов, теоретические основы создания и применения которых приведены в [7, 9]. Другими словами, коллектор тягового электродвигателя – это сложный объект исследования, требующий тщательного подхода к разработке его модели. Поэтому применение метода конечных элементов [1] в данном случае является более приемлемым при решении тепловых задач расчета теплограммы коллектора. Этот метод позволяет учитывать не только геометрию моделируемого тела, но и разнородность материалов и их разную теплопроводность, что в первую очередь сказывается на точности расчетов моделирования.

Согласно закону Джоуля – Ленца, нагрев в проводнике происходит от прохождения по нему электрического тока, и, как известно, изменение величины плотности тока влияет на величину тока, причем прямо пропорционально. Следовательно, тепловая модель коллектора электродвигателя должна быть связанной с моделью распределения плотности тока в коллекторной пластине. Поэтому с целью обнаружения наиболее нагреваемого места в коллекторе необходимо провести анализ распределения плотности тока в пластине электрической машины.

При построении модели по распределению плотности тока в коллекторной пластине ТЭД НБ-418 К6 преследовалась цель обнаружения наиболее нагреваемого места в коллекторе, что необходимо для получения более достоверной диагностической информации при выявлении такого типа дефекта, как «некачественная пайка в петушках коллектора электродвигателя». В ходе моделирования получена следующая модель, представленная на рис. 1.

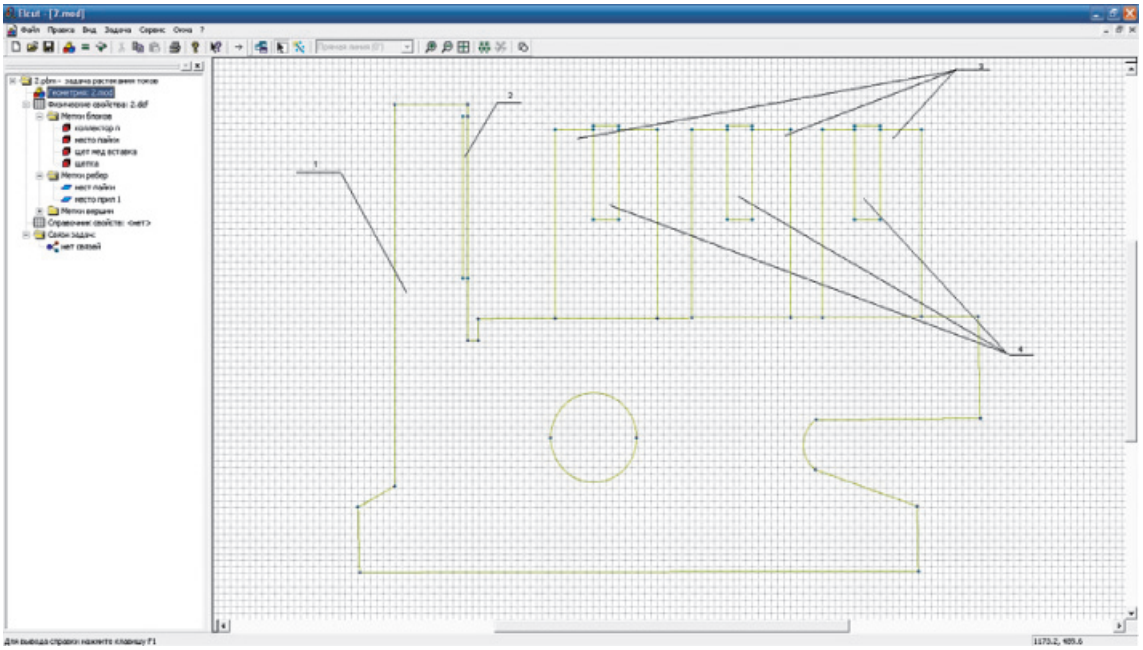


Рис. 1. Геометрия модели коллекторной пластины ТЭД НБ-418 К6 в программной среде Elcut

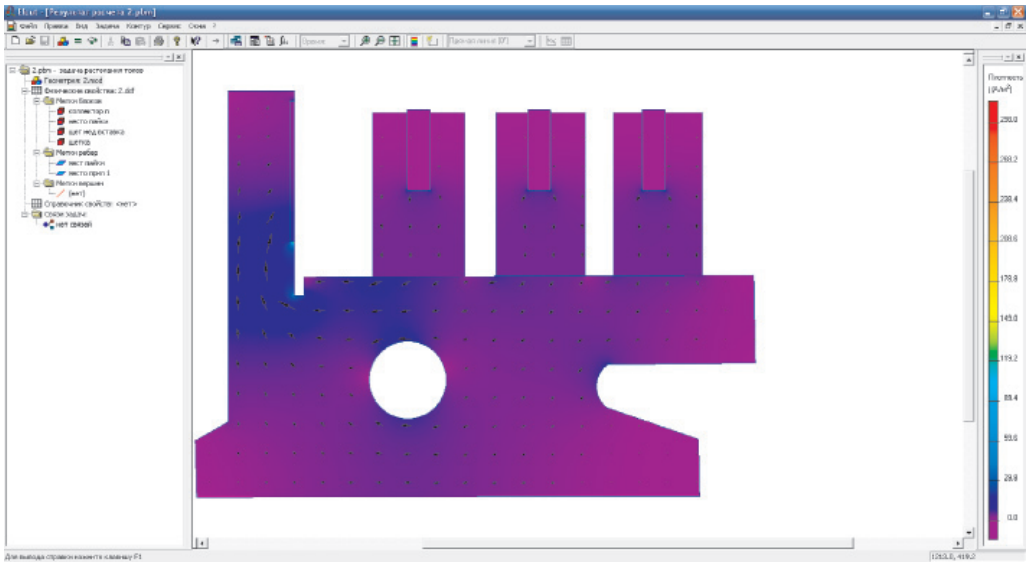


Рис. 2. Распределение плотности тока в коллекторной пластине ТЭД НБ-418 К6

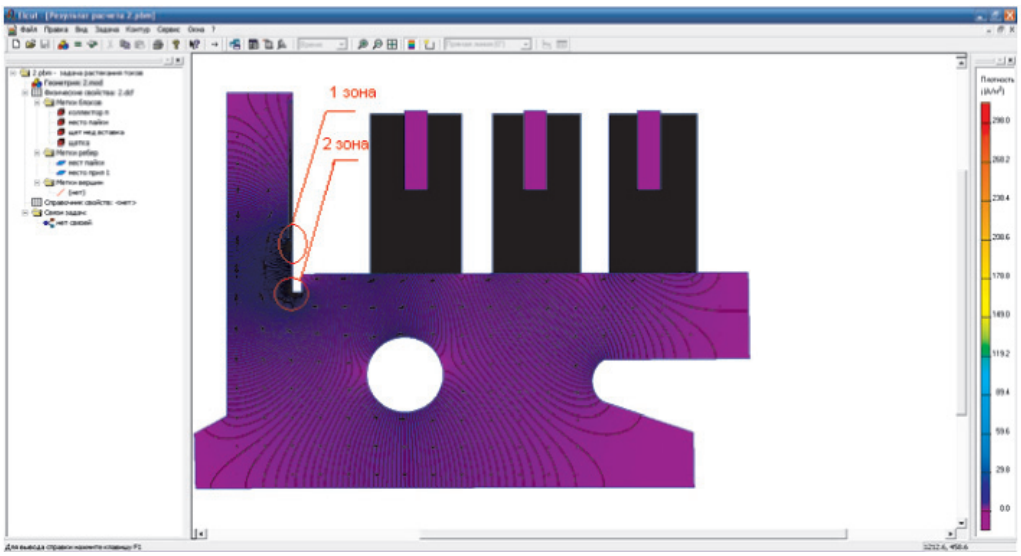


Рис. 3. Распределение плотности тока в зоне 1 и в зоне 2

На рис. 1 представлены следующие элементы: 1 – коллекторная пластина, 2 – место пайки в петушках коллектора электродвигателя, 3 – щетки двигателя, 4 – медные вставки (токопровод).

Результаты моделирования распределения плотности тока в коллекторной пластине представлены на рис. 2.

При расчете методом конечных элементов распределения плотности тока в пластине были получены следующие результаты, которые представлены на рис. 3–5.

По результатам моделирования выявлено, что большее распределение плотности тока происходит в двух условно обозначенных зонах. Это явление объясняется тем, что ток стремится пройти по кратчайшему пути (т.е. меньшее расстояние). А кратчайшему расстоянию для прохождения тока между системой «щетка – петушок – место пайки обмотки и петушка» как раз соответствуют условно обозначенные зоны (рис. 3). Таким образом, в результате моделирования были выявлены две основных зоны большего распределения плотности тока в месте соединения «петушок – обмотка» (выделенные красным цветом зоны и представленные на рис. 3). При еще более точном моделировании необходимо учитывать, что ток не распределяется равномерно по всей контактной поверхности щётки.

Причины этого весьма разнообразны, в частности:

– внешние факторы (пыль, газ, избыточная влажность, низкая температура);

– марка щётки не подходит к условиям работы машины (слишком толстый слой политуры, слишком большая или слишком малая плотность тока в щётках, вентиляция и т.д.).

При идентичном процессе ток может распределяться неравномерно между щётками на одном и том же щёткодержателе на коллекторе или на одной и той же траектории на кольце. Часто причиной этого может быть разное усилие нажатия, прикладываемое к щёткам. Все эти факторы можно учесть при моделировании, что сильно усложнит модель и увеличит время расчетов. Поэтому в модели не были учтены эти факторы.

При расчете модели по распределению плотности тока в зоне 1 и в зоне 2 для возможности анализа в этих зонах выделения тепла рассчитывается связанная модель тепловыделения в коллекторной пластине, представленная на рис. 4.

Первая зона имеет существенное значение для такого типа дефекта, как некачественная пайка, так как в ней расположено место пайки петушка и якорной обмотки. Следовательно, существенное влияние на дополнительный нагрев в этой зоне оказывает не только некачественная пайка «петушка» коллектора, но и распределение плотности тока в этой зоне. Результаты моделирования первой зоны представлены на рис. 5–6.

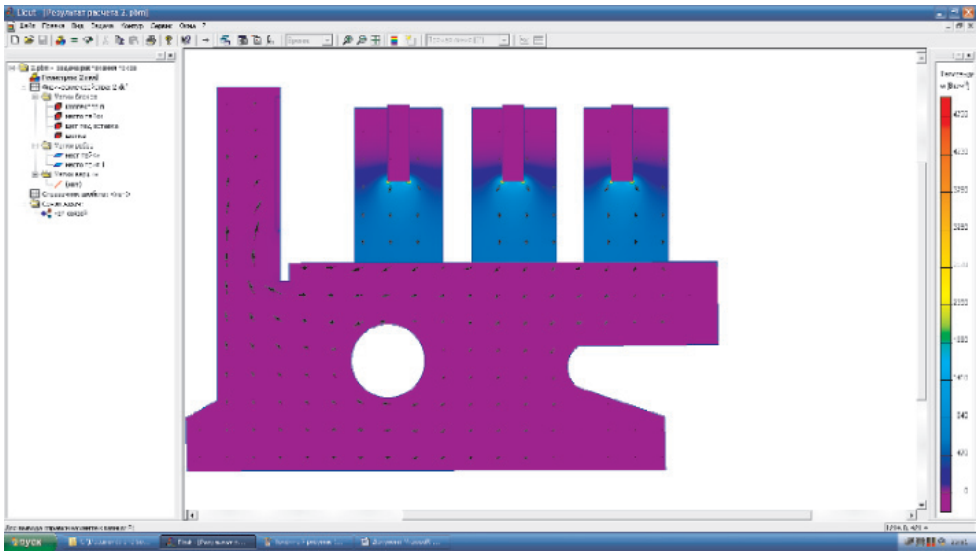


Рис. 4. Тепловыделение в системе «коллекторная пластина – щетки»

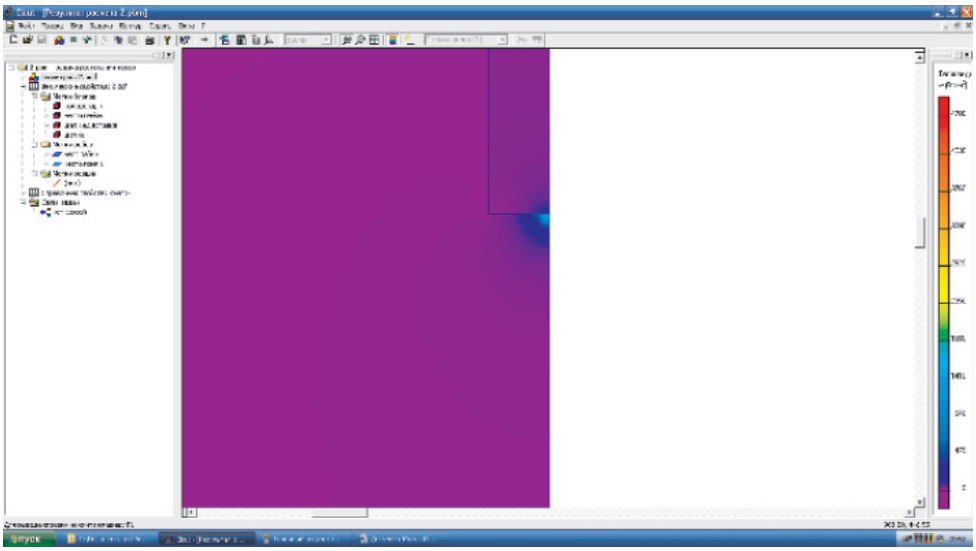


Рис. 5. Тепловыделение первой зоны «петушка» коллектора

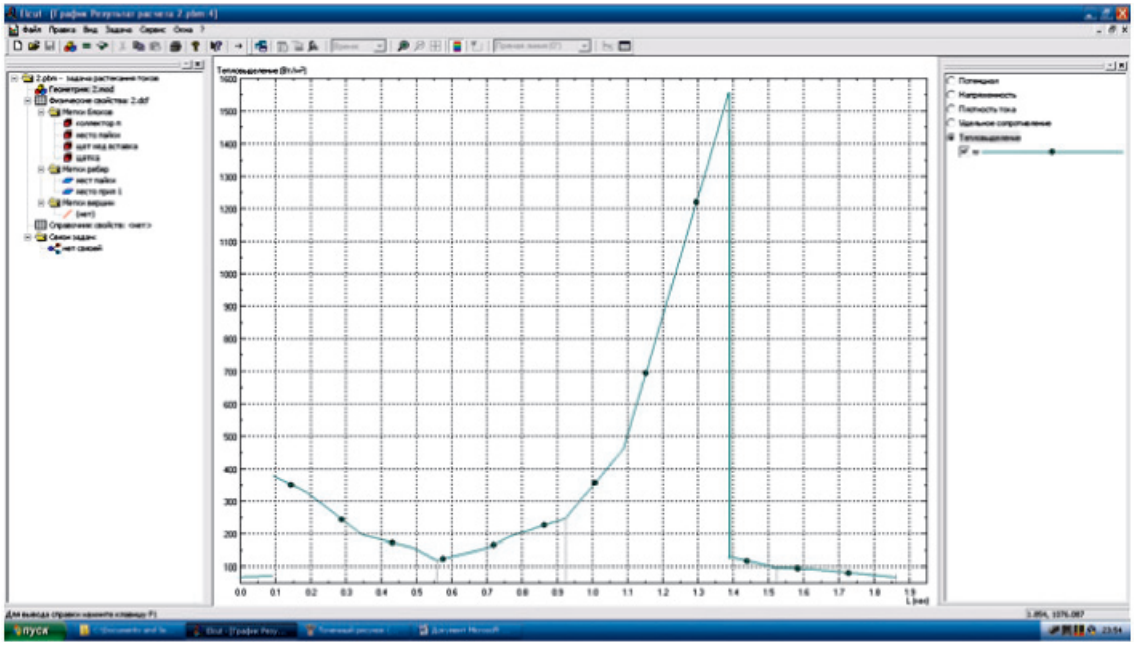


Рис. 6. Максимальное тепловыделение в первой зоне

Расчетные значения первой зоны

L (мм)	x (мм)	y (мм)	j (А/м^2)	r (Ом·м)	w (Вт/м^3)
0,00000	980,402	454,836	11,1100	0,120000	14,8119
1,04155	979,361	454,799	11,1411	0,120000	14,8950
2,08305	979,000	454,101	14,0465	0,0175000	3,45283
3,12458	979,000	453,059	15,4502	0,0175000	4,17740
4,16609	979,000	452,018	16,6557	0,0175000	4,85469
6,24916	978,142	450,368	21,5017	0,0175000	8,09062
7,29066	977,611	449,538	20,5925	0,0175000	7,42089
8,33219	977,736	448,527	20,8788	0,0175000	7,62870
9,37369	978,234	447,640	21,1040	0,0175000	7,79414
8,22802	978,872	446,816	20,8329	0,0175000	7,59516
9,74774	979,713	446,234	20,5695	0,0175000	7,40433
11,26379	980,194	446,569	21,2654	0,0175000	7,91376
13,5398	980,243	447,609	23,8182	0,0175000	9,92784
14,5813	980,292	448,650	28,8116	0,0175000	14,5269
15,6228	980,341	449,690	42,8324	0,0175000	32,1057
16,6644	980,402	450,730	168,475	0,0175000	496,717

Из рис. 5–6 видно, что максимальное тепловыделение при качественной пайке в первой зоне составляет $W = 496{,}717$ Вт. Также из рисунка видно, что самое большое значение тепловыделения происходит еще под краем щетки $W = 1550$ Вт. Расчетные значения для первой зоны сводим в таблицу.

Выводы по результатам моделирования

1. При обосновании выбора источников выделения тепла учитываем факт неравномерного распределения плотности тока в коллекторной пластине, что видно из проведенного анализа и из рисунков, что особенно характерно для первой зоны, где имеет место распределение большего значения плотности тока, соответствующего большему нагреву в этом месте.

2. Большинство методик расчетов распределения тепла в коллекторе (например, метод тепловых схем замещения) не учитывают геометрию коллектора и являются менее точными по сравнению с методом конечных элементов.

3. Максимальное тепловыделение при качественной пайке составляет

$$W = 496{,}717 \text{ Вт.}$$

4. С учетом вышеизложенного возникает необходимость в расчете модели с использованием метода конечных элементов в программной среде трехмерного моделирования с целью исследования влияния рассмотренного типа дефекта на нагрев коллектора.

Список литературы

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

2. Петуров В.И., Четвериков С.В. Математическое моделирование при исследовании диэлектрических характеристик изоляции электрических сетей напряжением 6, 10 кВ // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 3 (43). – С. 68–71.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособ. для вузов / Трофимова Т.И. – 15-е изд. – М.: Академия, 2007. – 560 с.

4. Тютрина С.В., Кузнецова Н.С., Бурнашова Н.Н. Спектральная характеристика силикатов Забайкальского края и композитов на их основе, полученных при воздействии ультразвуковых колебаний // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9. – С. 460–464.

5. Фоменко В.К. Разработка технологии тепловизионного контроля технического состояния якорей тяговых электродвигателей локомотивов: дис. … канд. техн. наук. – Омск, 2008. – 143 с.

6. ЦТ-ЦТВР-4782 – Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава.

7. Четвериков С.В., Петуров В.И. Теоретическое исследование возможностей повышения стойкости инструмента из композита // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12432.

8. Чуйко А.Д. Анализ существующих методов диагностирования паянных соединений петушков коллектора тягового электродвигателя // Управление, эксплуатация и ремонт железнодорожных узлов и агрегатов: межвузовский сборник научных трудов. – Чита: ЗабИЖТ, 2009 г.

9. Чуйко А.Д. Расчет теплового поля коллектора в программной среде Elcut 5.6 // Инновации и современные технологии экономике и транспорту: межвузовский сборник научных трудов. – Чита: ЗабИЖТ, 2013.

References

1. Zenkevich O. Metod konechnykh ehlementov v tekhnike. M.: Mir, 1975. 541 p.

2. Peturov V.I., Chetverikov S.V. Matematicheskoe modelirovanie pri issledovanii di-ehlektricheskikh kharakteristik izoljacii ehlektricheskikh setejj naprjazheniem 6, 10 kV // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyjj analiz. Modelirovanie. 2014. no. 3 (43). pp. 68–71.

3. Trofimova, T.I. Kurs fiziki: ucheb. posob. dlja vuzov / Trofimova T.I. 15-e izd. M.: Akademija, 2007. 560 p.

4. Tjutrina S.V., Kuznecova N.S., Burnashova N.N. Spektral'naja kharakteristika silikatov Zabajjkal'skogo kraja i kompozitov na ikh osnove, poluchennykh pri vozdejjstvii ul'trazvukovykh kolebanijj / Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 9. pp. 460–464.

5. Fomenko V.K. Razrabotka tekhnologii teplovizionnogo kontrolja tekhnicheskogo sostojanija jakorejj tjagovykh ehlektrodvigatelejj lokomotivov: diss… kand. tekhn. nauk. Omsk, 2008. 143 p.

6. CT-CTVR-4782 Pravila remonta ehlektricheskikh mashin ehlektropodvizhnogo sostava.

7. Chetverikov S.V., Peturov V.I. Teoreticheskoe issledovanie vozmozhnostejj povyshenija stojjkosti instrumenta iz kompozita // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12432.

8. Chujjko A.D. Analiz sushhestvujushhikh metodov diagnostirovanija pajannykh soedinenijj pe-tushkov kollektora tjagovogo ehlektrodvigatelja. V kn. Upravlenie, ehkspluatacija i re-mont zheleznodorozhnykh uzlov i agregatov. Mezhvuzovskijj sbornik nauchnykh trudov / Chita: ZabIZhT, 2009 g.

9. Chujjko A.D. Raschet teplovogo polja kollektora v programmnojj srede Elcut 5.6. V kn. In-novacii i sovremennye tekhnologii ehkonomike i transportu. Mezhvuzovskijj sbornik nauchnykh trudov / Chita: ZabIZhT, 2013.

Рецензенты:

Бабокин Г.И., д.т.н., профессор кафедры «Электрификация и энергоэффективность горных предприятий», Горный институт, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва;

Баландин О.А., д.т.н., заведующий кафедрой прикладной механики и инженерной графики, Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения (ЗабИЖТ), г. Чита.

Работа поступила в редакцию 04.02.2015.

УДК 331.45-613.6

КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ

[1]Шанина Е.В., [2]Шанина Ек.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан, e-mail: shaninalena@rambler.ru;

[2]ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск

На основании анализа литературных данных о профессиональных заболеваниях горняков установлено, что наиболее распространенными среди них болезнями являются заболевания органов слуха – тугоухость, вибрационная болезнь, и заболевания органов дыхания – пневмокониоз. Выявлено, что большинство шахтеров работает в условиях повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, вибрации, неблагоприятного микроклимата, что является причиной возникновения профессиональных заболеваний. Проведя анализ перечня применяемых индивидуальных средств защиты на шахте «Хакасская» и оценив их эффективность с учетом условий труда, подобрали более современные средства защиты, позволяющие значительно снизить вредное воздействие на организм горняков. Также было установлено, что для сохранения здоровья шахтеров наиболее эффективно проведение комплекса мероприятий, направленных на предупреждение, профилактику заболеваний и реабилитацию работников.

Ключевые слова: профессиональное заболевание, виброакустические факторы, шум, вибрация, запыленность, профилактика, реабилитация

COMPLEX OF ACTIONS FOR CREATION OF COMFORTABLE WORKING CONDITIONS AT COAL MINING IN THE CLOSED WAY

[1]Shanina E.V., [2]Shanina Ek.V.

[1]The Khakass state university of N.F. Katanov, Abakan, e-mail: shaninalena@rambler.ru;

[2]Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk

On the basis of the analysis of literary data on occupational diseases of miners it is established that the diseases which are the most extended among them are diseases of organs of hearing – relative deafness, a vibration illness and diseases of respiratory organs – a pneumoconiosis. It is revealed that most of miners works in the conditions of the raised dust content and a gas contamination of air of a working zone, the increased noise level, vibration, an adverse microclimate that is the reason of developing of occupational diseases. Having carried out the analysis of the list of the applied individual means of protection on Hakasskaya mine, and having estimated their efficiency, taking into account working conditions, more modern means of protection allowing to reduce considerably harmful effects on an organism of miners were picked up. Also it was established that for preservation of health of miners most effectively carrying out a complex of the actions directed on the prevention, prevention of diseases and rehabilitation of workers.

Keywords: occupational disease, vibroacoustic factors, noise, vibration, dust content, prevention, rehabilitation

Республика Хакасия является одним из крупнейших угледобывающих регионов России. В настоящее время на территории республики ведется разработка четырех месторождений. Работы идут на пяти разрезах и одной шахте. Черногорское месторождение разрабатывается двумя разрезами («Разрез Степной», «Разрез Черногорский») и шахтой «Хакасская». С конца 2000-х годов компания ООО «СУЭК-Хакасия» стала градообразующим предприятием города Черногорска, более 50 % населения, занятого в производственной сфере, работает на предприятиях компании ООО «СУЭК-Хакасия».

Согласно данным статистической отчетности по городу Черногорску, во вредных и опасных условиях труда работает около 29 % людей от общей численности работающих в промышленности. В том числе 1456 человек работает в условиях повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, вибрации, неблагоприятного микроклимата и др. (табл. 1).

Несоответствие рабочих мест нормальным уровням приводит к росту профессиональных заболеваний и заболеваний с временной утратой трудоспособности. В 2013 году зарегистрировано 52 новых случая профессиональных заболеваний, из них 33 с двумя диагнозами и более (в 2012 – 41 из них 27 с двумя диагнозами и более, в 2011 г. – 29, из них 17 случаев с двумя диагнозами и более) (табл. 2) [4].

Основная часть профессиональных заболеваний зарегистрирована на предприятиях угольной промышленности ООО «СУЭК – Хакасия» Шахта «Хакасская», ООО УК «Разрез «Степной».

Это все делает актуальным проблему профилактики и лечения профессиональных заболеваний, связанных с особенностями труда [2, 3].

Таблица 1

Удельный вес рабочих мест, не отвечающих нормативам по отдельным физическим факторам, на промышленных предприятиях города Черногорска

Физические факторы	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Шум	66,3	60,0	87,0	85,4
Вибрация	30,8	31,0	40,0	44,2
ЭМП	56,8	52,6	66,7	65,3
Микроклимат	12,5	10,7	27,9	31,5
Освещенность	15	25,5	26,5	26,9

Таблица 2

Профессиональная заболеваемость г. Черногорска в период 2010–2013 гг. [4]

Нозологические формы	2010 г.		2011 г.		2012 г.		2013 г.	
	Абс. ч.	%	Абс. ч.	%	Абс. ч.	%	Абс.ч.	%
Заболевание органа слуха	5	26,3	20	43,5	21	32,8	26	28,26
Заболевание органов дыхания	3	15,8	2	4,3	17	26,6	23	25
Вибрационная болезнь	11	57,9	24	52,2	20	31,3	35	38
Другие заболевания	–	–	–	–	6	9,3	8	8,7
Всего:	19	100	46	100	64	100	92	100

Таблица 3

Уровни шума подземного оборудования, дБ [1]

Оборудование	Уровень шума, дБ	ПДУ	Превышение ПДУ, %
Пневмозакладочные машины	119	80	49,7
Буровые станки	95–105		31
Проходческие комбайны	95–100		28
Щитовые агрегаты	95–116		45
Очистные угольных комбайнов	85–95		18,75
Ручные электросвёрла	85–90		11,25
Электровозы	80–85		6,25
Движущиеся грузовые вагонетки и вагонетки для перевозки людей	85–90		11,25
Отбойные молотки	90–95		18,75
Перфораторы	свыше 115		43,75
Гидромониторы	свыше 125		56,25

При обслуживании горных машин и механизмов одними из наиболее распространенных причин, приводящих к появлению профессиональных заболеваний, являются виброакустические факторы (шум, вибрация, инфразвук и др.), уровни которых часто превышают предельно допустимые величины (табл. 3).

Как видно из табл. 3, наиболее интенсивный шум – 114–127 дБ (максимум звуковой энергии приходится на область высоких частот) наблюдается при работе различных типов перфораторов. Погрузочные машины генерируют средне- и высокочастотный шум интенсивностью до 105 дБ; при работе пневматических ковшовых машин – 95–110 дБ; при скреперовании – 94–97 дБ; при очистке вагонов и дроблении негабаритов, работе вентиляторов частичного проветривания достигает 90–99 дБ. Учитывая, что все эти уровни шума воздействуют на организм и обладают эффектом суммации, шум, будучи общебиологическим раздражителем, ведёт к развитию тугоухости, развитию патологии сердечно-сосудистой системы работников и шумовой болезни.

Большинство машин и механизмов, применяемых в подземных выработках рудников, являются источниками повышенных уровней вибрации. Передача вибрации к человеку осуществляется через пол, сиденье и рычаги управления при обслуживании машин и механизмов. Основными источниками вибрации, передаваемой на руки, являются перфораторы. При несоблюдении техники безопасности труда, т.е. при работе

без приспособлений для виброгашения, наблюдается значительное превышение допустимых уровней в широком диапазоне частот, исходящих от перфораторов. Высокие уровни локальной вибрации (111–115 дБ) отмечены при доставке горной массы одноковшовыми скреперными лебёдками. При работе пневматической погрузочной машины корректированный уровень виброскорости на рукоятках рычагов управления может составлять 120 дБ.

Многочисленными исследованиями А.А. Летавета и Э.А. Дрогичиной показано, что среднесменные дозы шума и вибрации, получаемые работниками подземных профессий, как правило, превышают допустимые уровни. Наиболее высокие дозы получают бурильщики, проходчики, значительно ниже – скрепери́сты, машинисты погрузочных машин. Кроме того, тот факт, что рабочие при выполнении основных технологических операций подземной добычи полезных ископаемых одновременно подвергаются комбинированным воздействиям вибрации и шума, повышает их шанс приобрести профзаболевание [1].

Степень вредности и опасности условий труда при действии виброакустических факторов при выполнении подземных работ, согласно гигиеническим критериям Р 2.2.2006-05, установленным с учётом их временных характеристик (постоянный, непостоянный шум, вибрация и т.д.) находится в пределах класса 3.2–3.3. [5].

Вибрация, как общая, так и локальная, вызывает изменения в функциональном состоянии вестибулярного аппарата, центральной нервной системы, сердечно-сосудистой и других систем. Появление утомления, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия рабочих могут расцениваться как симптомы начала профессионального заболевания – вибрационной болезни. Для решения проблем, появления и развития профессиональных заболеваний на горнодобывающем предприятии должны быть разработаны мероприятия по улучшению условий труда работников, в том числе профилактические. Обязательным условием при работе в условиях действия виброакустических факторов является применение средств индивидуальной защиты. Реабилитация и восстановление здоровья работников угольной промышленности в специализированных санаториях-профилакториях значительно повысят количество здоровых сотрудников.

Профилактические мероприятия

Для снижения неблагоприятного воздействия на организм горнорабочих шума и вибрации в горном производстве должны использоваться только современные высокопроизводительные машины и механизмы, для которых можно установить дозовые нагрузки, рассчитать уровни профессионального риска и разработать опережающие требования и рекомендации по снижению неблагоприятного их воздействия на организм человека.

Наиболее распространенной профессиональной болезнью горняков является тугоухость. Как правило, для ее профилактики назначают медикаментозные средства, такие как витамины группы В, апилак, АТФ, никотиновая кислота, поливитамины. Недостатком этого способа профилактики является невысокая эффективность. В последнее время как наиболее эффективный препарат для профилактики тугоухости у лиц, работающих в условиях интенсивных акустических нагрузок, стали использовать препарат Бемитил. По мнению российских ученых, работа без приема Бемитила приводит к существенному повышению порогов воздушного и костного восприятия на 20–30 дБ на низкие и средние частоты и на 45–55 дБ на высокие частоты. После цикла приема препарата указанные показатели составили соответственно 10–20 и 30 дБ, а восстановление звуковосприятия при применении Бемитила сократилось более чем в 2 раза (с 4,5 до 2 ч) [6].

Профилактикой вибрационной болезни является специальный режим труда. Так, при работе с ручными машинами суммарное время работы с вибрациями не должно превышать 2/3 рабочей смены, при этом продолжительность одного сеанса работы, включая технологические микропаузы, не должна превышать 15–20 мин. Обеденный перерыв должен быть не менее 40 мин; предусмотрено два регламентированных перерыва для активного отдыха.

При обнаружении признаков виброболезни рабочего необходимо временно (до решения медико-социальной экспертизы) перевести на другую работу, не связанную с вибрацией и со значительным мышечным напряжением, а также с охлаждением рук.

Вдыхаемые с воздухом мелкие частички пыли могут вызвать заболевание лёгких – пневмокониоз (угольный – антракоз, породный – силикоз). При нормальном состоянии носоглотки и дыхательных путей до 90% вдыхаемой пыли задерживается, но крупные пылевые частицы сильно травмируют слизистую оболочку.

Под влиянием пыли происходит перерождение легочной ткани. При попадании в легкие породной пыли, содержащей SiO_2, образуется кремниевая кислота H_2SiO_3,

ускоряющая разрушение. Пневмокониоз развивается достаточно медленно (до 10–15 лет). Возможность возникновения заболевания зависит от массы вдыхаемой пыли и содержания в ней SiO_2. Наиболее опасна пыль 0,1–0,2 мкм.

Меры профилактики пневмокониоза:

– медосмотры;

– лечебно-профилактические мероприятия;

– уменьшение пылеобразования, пылеподавление (инженерно-технические мероприятия) [7].

Проведя анализ перечня применяемых индивидуальных средств защиты на шахте «Хакасская» и оценив их эффективность с учетом условий труда, подобрали более современные средства защиты, позволяющие значительно снизить вредное воздействие на организм горняков (табл. 4).

Реабилитационные действия

Большое значение имеют предварительные (профессиональный отбор) и периодические медицинские осмотры, позволяющие выявить ранние стадии профессиональных заболеваний. Важное значение для предупреждения профессиональных и других заболеваний шахтеров имеет их санитарно-бытовое и медицинское обслуживание, организация на шахтах ингаляториев, ночных профилакториев, создание в угольных районах противосиликозных диспансеров, своевременное лечение. Создание специализированных санаториев, включающих:

1) углекислые ванны, которые усилят вентиляцию легких;

2) ультразвук, способствующий очищению бронхов, и лазеротерапия, которая путем стимуляции биологически активных точек обновит энергетический запас организма, а щелочные ингаляции будут способствовать очищению бронхов.

Предусмотрены льготы для горняков: сокращенный 6-часовой рабочий день, дополнительный отпуск от 12 до 24 дней в зависимости от условий труда, льготы по пенсионному обеспечению. Существенное значение в предупреждении профессиональных заболеваний шахтеров имеют санитарные нормативы и правила, ограничивающие воздействие вредных факторов.

Применение данного комплекса мероприятий способствует:

1. Оздоровлению работников угольной промышленности Республики Хакасия.

2. Уменьшению уровня негативного влияния оборудования на рабочих в угольных шахтах.

3. Снижению общего уровня шума и вибрации и приведению этих уровней к санитарно-гигиеническим нормам.

4. Уменьшению заболеваемости и, как следствие, уменьшению временной нетрудоспособности шахтеров и экономической выгоде.

Таблица 4

Средства индивидуальной защиты

Средства защиты, применяемые сейчас	Уровень защиты (плюсы и минусы)	Предлагаемые средства защиты	Уровень защиты (плюсы и минусы)
От шума			
Беруши	Максимальное снижение уровня шума на 37 дБ	Наушники Peltor Optime III стандарт 35 дБ	Средняя противошумная эффективность 35 дБ. Данные наушники обеспечивают надежную защиту от шумов высокой (40 дБ), средней (32 дБ) и низкой частот (23 дБ). Эти наушники пропускают звук голоса
От вибрации			
Рукавицы комбинированные с наладонником	Для защиты рук от механических воздействий при грубой и тяжелой работе. Снижение уровня вибрации отсутствует	Антивибрационные перчатки	Двухкратное гашение вибрации (до 6 Дб) на рукавицах в октавных полосах рабочих частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц
От вдыхаемой пыли			
Респиратор 3М 8112	Степень защиты до 4 ПДК	Респиратор для защиты органов дыхания	Степень защиты до 6 ПДК, содержит маску, воздушный фильтр, устройство для крепления
Полумаска 3М серия 6000	Защита от газов и аэрозолей		

5. Уменьшению возникновения профессиональных заболеваний, снижению социальных и экономических выплат и обязательств.

6. Возможности более позднего ухода на пенсию высококвалифицированных кадров.

Список литературы

1. Вибрация на производстве: вопросы физики, гигиены и физиологии труда, клиники, патофизиологии и профилактики / под ред. А.А. Летавета, Э.А. Дрогичиной. – М.: Медицина, 1971. – С. 122–237.

2. О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2013 году // государственный доклад. – Абакан: ООО ОРИОН, 2014. – 160 с.

3. О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2012 году// государственный доклад. – Абакан: ООО ОРИОН, 2013. – 128 с.

4. Оценка влияния факторов среды обитания на здоровье населения в г. Черногорске за 2012 год // Доклад Роспотребнадзора – Черногорск, 2013. – 56 с.

5. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: ДЕАН, 2006. – 240 с.

6. Ревской Ю.К.; Глазников Л.А.; Макеев Б.Л.; Гофман В.Р.; Нестеров М.А. Средство для профилактики профессиональной тугоухости // Патент РФ № 4756931/14, 1994.08.15 .

7. Руководство по профессиональным заболеваниям / под ред. Н.Ф. Измерова. – М.: Медицина, Т. 2, 1983. – С. 113–163.

References

1. Vibracija na proizvodstve: voprosy fiziki, gigieny i fiziologii truda, kliniki, patofiziologii i profilaktiki / pod red. A.A. Letaveta, Je.A. Drogichinoj. M.: Medicina, 1971. pp. 122–237.

2. O sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Hakasija v 2013 godu // gosudarstvennyj doklad. Abakan: OOO ORION, 2014. 160 p.

3. O sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Hakasija v 2012 godu// gosudarstvennyj doklad. Abakan: OOO ORION, 2013. 128 p.

4. Ocenka vlijanija faktorov sredy obitanija na zdorov'e naselenija v g. Chernogorske za 2012 god // Doklad Rospotrebnadzora. Chernogorsk, 2013. 56 p.

5. R 2.2.2006-05. Rukovodstvo po gigienicheskoj ocenke faktorov rabochej sredy i trudovogo processa. Kriterii i klassifikacija uslovij truda. M.: DEAN, 2006. 240 p.

6. Revskoj Ju.K.; Glaznikov L.A.; Makeev B.L.; Gofman V.R.; Nesterov M.A. Sredstvo dlja profilaktiki professional'noj tugouhosti // Patent RF № 4756931/14, 1994.08.15.

7. Rukovodstvo po professional'nym zabolevanijam / pod red. N.F. Izmerova. M.: Medicina, T. 2, 1983. pp. 113–163.

Рецензенты:

Дулесов А.С., д.т.н., зав. кафедрой ИТиС, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан;

Грибов А.И., д.б.н., профессор, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 519.673:547.562.4:628.3

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В., Савинова Л.Н.

ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», Тула, e-mail: dmitrov83@mail.ru

Для эффективного управления процессом очистки сточных вод промышленных предприятий от фенольных соединений (на примере Бисфенола-А) с использованием усовершенствованных окислительных процессов (УФ излучения, $\lambda = 365$ нм, H_2O_2, $FeCl_3$) предложена экспоненциальная модель снижения концентрации фенольных соединений, идентифицированная в программной среде Statistica. С целью стабилизации неустойчивых параметров модели использована идея регуляризации А.Н. Тихонова, проведена процедура «гребневой регрессии». Полученная регуляризованная модель, устанавливающая зависимость степени разложения фенольных соединений в водной среде под действием физико-химических факторов (реактив фото-Фентона) от параметров процесса, является статистически значимой ($R^2 = 0{,}9995$) и обладает улучшенными прогнозными свойствами, чем модель, идентифицированная по методу наименьших квадратов. С использованием регуляризованной модели снижения концентрации фенольных соединений методом множителей Лагранжа в системе MathCad определены удельные оптимальные уровни расходов $FeCl_3$, H_2O_2, обеспечивающие снижение концентрации фенольных соединений в сточных водах до предельно допустимого уровня.

Ключевые слова: регуляризация, некорректные задачи, моделирование, фенол, сточные воды, очистка, усовершенствованные окислительные процессы

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF PHOTOCHEMICAL TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM PHENOLIC POLLUTANTS USING REGULARIZATION METHOD

Sheynkman L.E., Dergunov D.V., Savinova L.N.

Tula State University, Tula, e-mail: dmitrov83@mail.ru

To effectively manage the process of sewage treatment, industrial enterprises of phenolic compounds (for example, Bisphenol-A) using advanced oxidation processes (UV radiation, $\lambda = 365$ nm, H_2O_2, $FeCl_3$) proposed exponential model reduction the concentration of phenolic compounds identified in the software environment Statistica. In order to stabilize the unstable parameters of the model, the concept of regularization A.N. Tikhonov, conducted procedure «ridge regression». The resulting regularized model, establishing the degree of decomposition of phenolic compounds in an aqueous medium under the influence physicochemical factors (Fenton's reagent photo) on the process parameters is statistically significant ($R^2 = 0{,}9995$) and has improved the forecast properties than the model identified by the method of least squares. With the use of a regularized model to reduce the concentration of phenolic compounds in the method of Lagrange multipliers to determine the specific system MathCad optimal levels of expenditure $FeCl_3$, H_2O_2, ensuring reduction in the concentration of phenolic compounds in the wastewater to the maximum permissible level.

Keywords: regularization, incorrectly tasks, modeling, phenol, wastewater, clearing, advanced oxidation processes

Сточные воды ряда отраслей промышленности (химической, фармацевтической, металлургической, целлюлозно-бумажной, горно-перерабатывающей и др.) вносят значительный вклад в загрязнение поверхностных и подземных водных объектов фенольными и труднооокисляемыми органическими соединениями. Фенол – потенциально опасное, канцерогенное вещество, представляющее значительную медицинскую проблему, даже при низких концентрациях.

Усовершенствованные окислительные процессы (АОР) играют важную роль в разложении органических веществ, содержащихся в сточных водах в широких пределах концентраций. АОР-процессы генерируют гидроксильные радикалы, которые являются сильными окислителями, способными осуществлять минерализацию широкого спектра органических веществ. Гидроксильный радикал имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал ($E_0 = 2{,}80$ В) и способен реагировать с фактически всеми классами органических соединений [4]. Окисляющие гидроксильные радикалы могут быть инициированы фотолизом в результате фото-Фентон процесса.

Очистка сточных вод от фенольных соединений с использованием усовершенствованных окислительных процессов происходит преимущественно в фотохимических реакторах. Фотохимические реакторы, представляют собой аппараты, в которых осуществляются фотохимические реакции. Но в них не только совершаются превращения, но и протекают сопутствующие процессы массо- и теплообмена и интенсивное движение среды. От правильности выбора типа реактора, его конструкции и режима работы в наибольшей степени зависит

эффективность и безопасность процесса очистки [6].

При использовании фотореакторов для решения различных прикладных задач эффективному облучению в них должны подвергаться большие объемы реагентов.

Важным элементом модуля фотохимической очистки в общей системе локальных очистных сооружений является система дозирования реагентов, катализатора $FeCl_3$ и перекиси водорода H_2O_2.

Для стабильного функционирования реакторов и повышения эффективности минерализации органических соединений необходима оптимизация процесса очистки с целью определения оптимальных доз реагентов, вводимых в реактор. Оптимизация может быть основана на минимизации затрат, требуемых для осуществления запаса реагентов с учетом экологического регулирования процесса очистки. В качестве экологического регулятора может выступать функция зависимости концентрации органического загрязнителя от параметров процесса (концентраций реагентов и времени УФ-облучения), ограниченная предельно допустимым значением концентрации фенольного соединения. Функция концентрации определяется на основе статистического анализа экспериментальных данных АОР-процесса методом наименьших квадратов (МНК).

Зачастую задача определения параметров регрессионного уравнения методом наименьших квадратов является некорректно поставленной, и использование полученного уравнения при решении задачи оптимизации по определению оптимальных доз реагентов может привести к неадекватным результатам.

Таким образом, целью работы является применение методов регуляризации к построению устойчивой модели зависимости концентрации фенольного соединения от параметров процесса фотохимической очистки и идентификации оптимальных уровней расходов перекиси водорода и хлорида железа (III) при минимизации затрат на реагенты.

Для построения математической модели зависимости снижения концентрации фенольного соединения от параметров АОР-процесса при совместном воздействии перекиси водорода, хлорида железа (III) и ультрафиолетового излучения длиной волны 365 нм на фенольный загрязнитель в водной среде с целью решения задачи оптимизации по идентификации уровней расходов химических реагентов проводились экспериментальные исследования на модельных растворах, содержащих фенольные соединения (бисфенол-А, BPA), с применением жидкостной и газовой хроматографии. При проведении оптимального планирования эксперимента оценивалось влияние УФ-излучения и окислителей на уровень разложения органического загрязнителя при различных концентрациях BPA – x_1 (50 мкг/л, 100 мкг/л); перекиси водорода H_2O_2 – x_2 (100 мг/л; 200 мг/л) и активатора – хлорида железа (III) $FeCl_3$ (1; 2 г/л) – x_3. Модельный раствор, содержащий BPA, перекись водорода и $FeCl_3$, подвергался воздействию УФ-излучения в течение 2 часов (время облучения t – x_4). Пробы отбирались через 1 и 2 часа после облучения, и измерялась остаточная концентрация BPA (y). Измерения осуществлялись жидкостным хроматографом LC-MS/MS. Продукты полураспада в течение фотодеградации BPA были определены с помощью газового хроматографа GS-MS [8, 9].

При реализации процесса фото-Фентона ($Fe^{2+}/H_2O_2/h\nu$) для минерализации органических загрязнителей в кислой среде при pH = 3, формируется комплекс $Fe(OH)^{2+}$ [4, 11, 17]:

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^{\bullet} + OH^{-};$$

$$Fe^{3+} + H_2O \rightarrow Fe(OH)^{2+} + H^{+}.$$

Под действием УФ-облучения комплекс подвергается разложению, в результате чего образуются радикал $OH^{\bullet}$ и ион Fe^{2+}:

$$[Fe(OH)]^{2+} + h\nu \rightarrow Fe^{2+} + OH^{\bullet}.$$

Количественное описание фото-Фентон процесса на макроуровне, применительно к деградации органического загрязнителя в водной среде, можно описать моделью [18]:

$$r = -\frac{d[\mathrm{RH}]}{dt} = k[\mathrm{RH}]_0^{\alpha}\left[\mathrm{Fe}^{2+}\right]_0^{\beta}\left[\mathrm{H_2O_2}\right]_0^{\gamma},$$

где $[RH]_0$ – начальная концентрация органического загрязнителя; $[Fe^{2+}]_0$, $[H_2O_2]_0$ – начальные концентрации, активатора, содержащего ионы железа (II) и перекиси водорода соответственно; k – константа скорости реакции; r – скорость реакции; α, β, γ – порядки реакции по веществам.

При создании математической модели зависимости снижения концентрации фенольного соединения, от факторов процесса фотохимической очистки с участием реагента «фото-Фентона» будем исходить из линейных моделей или моделей, которые можно свести к линейным по коэффициентам с помощью подходящего преобразования, которые могут быть записаны в общем виде следующим образом [1]:

$$y = \eta + \varepsilon = \sum_{i=1}^{n} \beta_i f_i(x_1, x_2, \ldots, x_m) + \varepsilon, \quad (1)$$

где $f_i(x_1, x_2, ..., x_m)$ – произвольные функции факторов (регрессоров); $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ – коэффициенты модели; ε – ошибка эксперимента.

Исходя из закона действующих масс [16, 18] зависимость концентрации фенольного соединения от факторов процесса математически можно представить следующим выражением:

$$\eta = \beta_1 x_1^{\beta_2} x_2^{\beta_3} x_3^{\beta_4} x_4^{\beta_5}, \qquad (2)$$

где η – уровень остаточной концентрации ВРА в момент времени t, мг/л; x_1 – исходная концентрация ВРА, мг/л; x_2 – концентрация перекиси водорода, мг/л; x_3 – концентрация хлорида железа (III), г/л; x_4 – время процесса очистки, ч; β_1, β_2, β_3, β_4, β_5 – параметры модели.

Коэффициенты в модель (2) входят нелинейно, но при линеаризации путем логарифмировании по натуральному основанию, правой и левой частей уравнения (2), получим

$$\ln\tilde{\eta} = \ln\tilde{\beta}_1 + \beta_2 \ln\tilde{x}_1 + \beta_3 \ln\tilde{x}_2 + \beta_4 \ln\tilde{x}_3 + \beta_5 \ln\tilde{x}_4,$$

где в соответствии с (1)

$$\eta = \ln\tilde{\eta}, \quad \beta = \ln\tilde{\beta}_1,$$

$$f_1 = 1, \quad f_2 = \ln\tilde{x}_1,$$

$$f_3 = \ln\tilde{x}_2, \quad f_4 = \ln\tilde{x}_3,$$

$$f_n = f_5 = \ln\tilde{x}_4.$$

Однако при таком преобразовании случайное возмущение (ошибка эксперимента) входит в модель мультипликативно и имеет логнормальное распределение, т.е. $y = \tilde{\eta}\tilde{\varepsilon}$, и после логарифмирования это дает

$$\ln y = \ln\tilde{\eta} + \ln\tilde{\varepsilon} \text{ [1].}$$

После линеаризации и введения новых переменных выражение (2) примет вид

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4, \qquad (3)$$

где предикторные переменные X_1, X_2, X_3, X_4 и отклик Y являются логарифмическими функциями:

$$Y = \ln y, \quad X_1 = \ln x_1,$$

$$X_2 = \ln x_2, \quad X_3 = \ln x_3, X_4 = \ln x_4;$$

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 – параметры модели.

Обычно в задачах обработки данных матрица эксперимента и вектор отклика известны неточно, т.е. с погрешностями, и задача определения регрессионных коэффициентов по методу наименьших квадратов неустойчива к ошибкам в исходных данных [15]. При плохой обусловленности информационной матрицы $\mathbf{F^T F}$ (F – матрица регрессоров) МНК-оценки обычно неустойчивы. Для преодоления плохой обусловленности информационной матрицы предложена идея регуляризации, обоснованная в работах А.Н. Тихонова [12–15].

Применительно к решению регрессионных задач идея регуляризации А.Н. Тихонова интерпретирована А.Э. Хоэрлом как процедура «гребневой регрессии». При использовании метода «гребневой регрессии» для стабилизации МНК-оценок (определяемых $b = (\mathbf{F^T F})^{-1}\mathbf{F^T Y}$) регуляризация связана с добавлением некоего положительного числа τ (параметра регуляризации) к диагональным элементам матрицы $\mathbf{F^T F}$ [2].

Выбор параметра регуляризации τ Хоэрл, Кеннард и Белдвин [2, 3] предложили осуществлять следующим образом:

$$\tau = \frac{m \cdot S\,S_e}{n - m - 1} \cdot \frac{1}{b^{*T} b^*}, \qquad (4)$$

где m – количество параметров (без учета свободного члена) в исходной модели регрессии; SS_e – остаточная сумма квадратов, полученная по исходной модели регрессии без корректировки на мультиколлинеарность; b^* – вектор-столбец коэффициентов регрессии, преобразованный по формуле

$$b_j^* = b_j \sqrt{\sum \left(X_j - \bar{X}_j\right)^2},$$

где b_j – параметр при переменной X_j в исходной модели регрессии, определенный по МНК; $\bar{X}_j$ – среднее значение j-й независимой переменной.

После выбора величины τ формула для оценки регуляризованных параметров регрессии будет иметь вид

$$b_\tau = \left(\mathbf{F^T F} + \tau \mathbf{I}\right)^{-1} \mathbf{F^T Y}, \qquad (5)$$

где $\mathbf{I}$ – единичная матрица; $\mathbf{F}$ – матрица регрессоров; $\mathbf{Y}$ – вектор значений зависимой переменной.

Величина параметра регуляризации, определяемая по формуле (4), принимает значение, равное $\tau = 1{,}371 \cdot 10^{-4}$.

Регуляризованная модель снижения концентрации фенольного соединения, построенная в системе Statistica с учетом формулы (5), может быть представлена в виде

$$C_{ost} = \exp\left(-0{,}081205 + 0{,}971509 \ln C_{BPA} - 0{,}06986 \ln C_{H_2O_2} - 0{,}156641 \ln C_A - 0{,}203035 \ln t\right) \qquad (6)$$

где $C_{ост}$ и $C_{ВРА}$ – остаточная и начальная концентрации фенольного загрязнителя соответственно, мг/л; $C_{H_2O_2}$ – концентрация перекиси водорода, мг/л; C_A – концентрация хлорида железа (III), г/л; t – время, ч.

Значения коэффициента детерминации, $R^2 = 0{,}9995$, критерия Фишера F = 5348,417, превышающего критическое значение ($F_{кр}(0{,}01; 4{,}11) = 5{,}67$), характеризуют адекватность регуляризованной модели результатам эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0{,}1$.

Определение оптимальных удельных значений концентраций химических реагентов ($FeCl_3$, H_2O_2), необходимых для очистки воды, при достижении минимального удельного уровня затрат представляет собой задачу нелинейного (выпуклого) программирования вида (7–9) [7]:

$$f\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) \to \min; \tag{7}$$

$$g_i\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) \le b_i \left(i = \overline{1,m}\right); \tag{8}$$

$$x_j \ge 0 \left(j = \overline{1,n}\right), \tag{9}$$

где f – функция финансовых средств, связанная с запасом химических реагентов $f = Z(c_2, c_3)$; g_i – функция снижения концентрации фенольного соединения в водной среде в процессе физико-химической очистки, $g = C_{ost}(c_1, c_2, c_3, t)$ (функция ограничения); $x_1, x_2, \ldots, x_n$ – параметры процесса; x_1 – начальная концентрация фенольного соединения, $x_1 = c_1$, мг/л; x_2 и x_3 – концентрации перекиси водорода и хлорида железа (III) соответственно $x_2 = c_2$, мг/л, $x_3 = c_3$, г/л; t – время, ч; b_i – предельно допустимая концентрация фенольного соединения (ПДК), мг/л.

Функцию финансовых средств, представляющую двухноменклатурную модель затрат, связанную с запасом перекиси водорода и хлорида железа (III), с учетом формулы Вильсона можно представить в виде [10]

$$\begin{gathered} Z\left(c_2, c_3\right) = k_2 \cdot \frac{c_2^2 \cdot I_1}{2A} + \\ + k_3 \cdot \frac{c_3^2 \cdot I_2}{2A} + c_2 \cdot I_1 + c_3 \cdot I_2; \\ A = m_1 \cdot k_2 + m_2 \cdot k_3; \\ I_1 = i_1 \cdot k_2; \quad I_2 = i_2 \cdot k_3, \end{gathered} \tag{10}$$

где $Z(c_2, c_3)$ – удельные суммарные затраты, связанные с запасом, руб.; A – удельные накладные затраты одной общей поставки, руб.; c_2 – удельное потребление перекиси водорода, мг/л; c_3 – удельное потребление хлорида железа, г/л; I_1, I_2 – удельные тарифы затрат на хранение перекиси водорода и хлорида железа (III) соответственно, руб.; m_1, m_2 – доля цены продукции, приходящаяся на затраты на выполнение одного заказа по перекиси водорода и хлориду железа (III) соответственно; i_1, i_2 – доля цены продукции, приходящаяся на затраты на содержание запаса по перекиси водорода и хлориду железа (III) соответственно; k_2, k_3 – удельная закупочная цена единицы запаса перекиси водорода (руб./мг) и хлорида железа (III) (руб./г) соответственно.

Для решения системы (7)–(9) вводится набор переменных $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m$, называемых *множителями Лагранжа*, составляют *функцию Лагранжа*:

$$F\left(x_1, x_2, \ldots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m\right) =$$

$$= f\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \left[g_i\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) - b_i\right],$$

находятся частные производные $\frac{\partial F}{\partial x_j}\left(j = \overline{1,n}\right)$ и $\frac{\partial F}{\partial \lambda_i}\left(i = \overline{1,m}\right)$ и рассматривается система $n + m$ уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{\partial F}{\partial x_j} = \dfrac{\partial f}{\partial x_j} + \sum\limits_{i=1}^{m} \lambda_i \dfrac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0 \left(j = \overline{1,n}\right); \\ \dfrac{\partial F}{\partial \lambda_i} = g_i\left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) - b_i = 0 \left(i = \overline{1,m}\right); \end{cases} \tag{11}$$

с $n + m$ неизвестными $x_1, x_2, \ldots, x_n$; $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m$. Всякое решение системы уравнений (11) определяет условно-стационарную точку, в которой может иметь место экстремум функции $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$. При соблюдении условий Куна – Таккера (12.1)–(12.6) точка $X^* = \left(x_1^*, x_2^*, \ldots, x_n^*; \lambda_1^*, \lambda_2^*, \ldots, \lambda_m^*\right)$ является седловой точкой функции Лагранжа, т.е. найденное решение задачи (7)–(9) оптимально [5, 7]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial F^*}{\partial x_j} \ge 0, & j = \overline{1,n}; & (12.1) \\ x_j^* \dfrac{\partial F^*}{\partial x_j} = 0, & j = \overline{1,n}; & (12.2) \\ x_j^* \ge 0, & j = \overline{1,n}; & (12.3) \\ \dfrac{\partial F^*}{\partial \lambda_i} \le 0, & i = \overline{1,m}; & (12.4) \\ \lambda_i^* \dfrac{\partial F^*}{\partial \lambda_i} = 0, & i = \overline{1,m}; & (12.5) \\ \lambda_i^* \ge 0, & i = \overline{1,m}. & (12.6) \end{cases}$$

Задача идентификации оптимальных параметров процесса очистки промышленных сточных вод от фенольных соединений при достижении минимального уровня текущих удельных затрат, необходимых для обесфеноливания вод, решалась при следующих исходных данных: начальная концентрация фенольного загрязнителя в сточных водах 0,006 мг/л (6ПДК); время очистки, определенное технологическим процессом, – 5 суток (120 часов); предельно допустимая концентрация загрязнителя 0,001 мг/л ($b = 0{,}001$); удельная закупочная цена единицы запаса по перекиси водорода $24{,}5\cdot10^{-6}$ руб./мг ($k_2 = 24{,}5\cdot10^{-6}$), по хлориду железа (III) $37{,}5\cdot10^{-3}$ руб./г ($k_3 = 37{,}5\cdot10^{-3}$); доля цены продукции, приходящаяся на затраты по содержанию запаса по перекиси водорода и хлориду железа, равна соответственно 10 % ($i = 0{,}1$) и 12 % ($i = 0{,}12$); доля цены продукции, приходящаяся на затраты по выполнению заказа по перекиси водорода и хлориду железа 5 % ($m_1 = 0{,}05$) и 7 % ($m_2 = 0{,}07$) соответственно.

Решая задачу (7)–(9) в системе MathCad, получаем точку X^* с координатами

$$(c_2^*, c_3^*, \lambda^*) = (6{,}361\cdot10^3;\ 5{,}694;\ 1{,}346\cdot10^4),$$

в которой соблюдаются условия Куна – Таккера (12.1)–(12.6). Существует точка, принадлежащая области допустимых решений, в которой выполняется условие регулярности Слейтера:

$$C_{ost}(c_2^\circ, c_3^\circ) = C_{ost}(10^3,1) = -7{,}22\cdot10^{-9} < 0.$$

Вид условно-стационарной точки определялся в соответствии с критерием *Сильвестра* [5] применительно к матрице Гессе функции Лагранжа:

$$L = \begin{Vmatrix} \frac{\partial^2}{\partial c_2^2}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial c_2\partial c_3}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial c_2\partial \lambda}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) \\ \frac{\partial^2}{\partial c_3\partial c_2}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial c_3^2}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial c_3\partial \lambda}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) \\ \frac{\partial^2}{\partial \lambda\partial c_2}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial \lambda\partial c_3}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) & \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2}F\left(c_2^*,c_3^*,\lambda^*\right) \end{Vmatrix}$$

В соответствии с критерием Сильвестра матрица L является ни положительно, ни отрицательно определенной (полуопределенной) ($\Delta_1 = 4{,}772\cdot10^{-8} \geq 0$; $\Delta_2 = 6{,}639\cdot10^{-9} \geq 0$; $\Delta_3 = -5{,}042\cdot10^{-17} \leq 0$).

Из выполнения условий Куна – Таккера, регулярности Слейтера и на основе исследования знакоопределенности матрицы Гессе функции Лагранжа в условно-стационарной точке следует, что точка ($6{,}361\cdot10^3$; 5,694; $1{,}346\cdot10^4$) является седловой точкой функции Лагранжа, т.е. оптимальным решением задачи (7)–(9).

Таким образом, для снижения уровня фенолов в промышленных сточных водах с 0,006 мг/л (6 ПДК) до предельно допустимого (0,001 мг/л), потребуются удельные текущие затраты в размере 1,545 руб./л. Данное значение удельных затрат является минимальным при использовании в процессе очистки оптимальных удельных уровней расхода перекиси водорода $6{,}361\cdot10^3$ мг/л и хлорида железа (III) 5,694 г/л.

Методом множителей Лагранжа для технико-экономических условий ($c_1 = 0{,}006$ мг/л; $t = 120$ ч; $b = 10^{-3}$ мг/л; $k_2 = 24{,}5\cdot10^{-6}$ руб./мг, $k_3 = 37{,}5\cdot10^{-3}$ руб./г; $i_1 = 10\,\%$, $i_2 = 12\,\%$; $m_1 = 5\,\%$, $m_2 = 7\,\%$) решена задача определения оптимальных удельных значений ингредиентов, используемых в качестве окислителей в фотокаталитическом процессе разложения фенольного соединения, содержащегося в промышленных сточных водах до уровня ПДК.

Идентифицированная регуляризованная математическая модель, устанавливающая зависимость уровня снижения концентрации фенольного соединения в водной среде от параметров процесса фотохимической очистки, обладает лучшими прогнозными свойствами, чем модель, определяемая по методу наименьших квадратов. С использованием полученной регуляризованной математической модели методом множителей Лагранжа решена задача математического программирования по определению оценок оптимальных удельных уровней расхода химических реагентов ($FeCl_3$, H_2O_2), являющихся устойчивыми решениями.

Рассмотренный подход к идентификации оптимальных параметров процесса фотохимической очистки с применением регуляризации позволит обеспечивать эффективное управление очисткой сточных вод от фенольных соединений.

Список литературы

1. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1987. 240 с.

2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 912 с.

3. Елисеева И.И. Эконометрика. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 449 с.

4. Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Храменков С.В. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: монография. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 392 с.

5. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

6. Рабек Я. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике: Т. 2. – М.: Мир, 1985. – 544 с.

7. Соколов А.В., Токарев В.В. Методы оптимальных решений. В 2 т. Т.1. Общие положения. Математическое программирование. – М.: Физматлит, 2010. – 564 с.

8. Соколов Э.М., Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В. Исследование снижения концентрации фенольных соединений в водных средах с использованием математического моделирования // Вестник Южного научного центра РАН. – 2013. – Т. 9, № 2. – С. 23–31.

9. Соколов Э.М., Шейнкман Л.Э., Дергунов Д.В. Нелинейная кинетика распада фенольных соединений в водной среде // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9, Ч. 12. – С. 2677–2681.

10. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 430 с.

11. Сычев А.Я., Исак В.Г. Соединения железа и механизмы гомогенного катализа активации O_2, H_2O_2 и окисления органических субстратов // Успехи химии. – 1995. – № 64 (12). – С. 1183–1209.

12. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 285 с.

13. Тихонов А.Н. О регуляризации некорректно поставленных задач // Доклады АН СССР. – 1963. – № 153(1). – С. 45–52.

14. Тихонов А.Н. Решение некорректно поставленных задач и метод регуляризации // Доклады АН СССР. – 1963. – № 151(3). – С. 501–504.

15. Тихонов А.Н., Уфимцев М.В. Статистическая обработка результатов экспериментов. – М.: Издательство МГУ, 1988. – 174 с.

16. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. – М.: Высшая школа, 1984. – 463 с.

17. Marta I. Litter, Natalia Quici Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment // Recent Patents on Engineering. – 2010. – Vol. 4, № 3. – P. 217–241.

18. Xiangxuan Liu, Jiantao Liang, Xuanjun Wang Kinetics and Reaction Pathways of Formaldehyde Degradation Using the UV-Fenton Method // Water Environment Research. – 2011. – Vol. 83, № 5. – P. 418–426.

References

1. Vuchkov I., Bojadzhieva L., Solakov E. Prikladnoj linejnyj regressionnyj analiz. M.: Finansy i statistika,1987. 240 p.

2. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz. M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2007. 912 p.

3. Eliseeva I.I. Jekonometrika. M.: Izdatel'stvo Jurajt, 2014. 449 p.

4. Karmazinov F.V. Ul'trafioletovye tehnologii v sovremennom mire: monografija / F.V. Karmazinov, S.V. Kostjuchenko, N.N. Kudrjavcev, S.V. Hramenkov – Dolgoprudnyj: Izdatel'skij Dom «Intellekt», 2012. 392 p.

5. Moiseev N.N., Ivanilov Ju.P., Stoljarova E.M. Metody optimizacii. M.: Nauka, 1978. 352 p.

6. Rabek Ja. Jeksperimental'nye metody v fotohimii i fotofizike: T. 2. M.: Mir, 1985. 544 p.

7. Sokolov A.V., Tokarev V.V. Metody optimal'nyh reshenij. Vol. 2 t. T.1. Obshhie polozhenija. Matematicheskoe programmirovanie. M.: Fizmatlit, 2010. 564 p.

8. Sokolov Je.M., Shejnkman L.Je., Dergunov D.V. Issledovanie snizhenija koncentracii fenol'nyh soedinenij v vodnyh sredah s ispol'zovaniem matematicheskogo modelirovanija // Vestnik Juzhnogo nauchnogo centra RAN. 2013. Tom 9, no. 2. pp. 23–31.

9. Sokolov Je.M., Shejnkman L.Je., Dergunov D.V. Nelinejnaja kinetika raspada fenol'nyh soedinenij v vodnoj srede // Fundamental'nye issledovanija. 2014. no. 9. Ch.12. pp. 2677–2681.

10. Sterligova A.N. Upravlenie zapasami v cepjah postavok. M.: INFRA-M, 2009. 430 p.

11. Sychev A.Ja., Isak V.G. Soedinenija zheleza i mehanizmy gomogennogo kataliza aktivacii O_2, H_2O_2 i okislenija organicheskih substratov // Uspehi himii. 1995. 64 (12). pp. 1183–1209.

12. Tihonov A.N., Arsenin V.Ja. Metody reshenija nekorrektnyh zadach. M.: Nauka, 1979. 285 p.

13. Tihonov A.N. O reguljarizacii nekorrektno postavlennyh zadach // Doklady AN SSSR. 1963. 153(1). pp. 45–52.

14. Tihonov A.N. Reshenie nekorrektno postavlennyh zadach i metod reguljarizacii // Doklady AN SSSR. 1963. 151(3). pp. 501–504.

15. Tihonov A.N., Ufimcev M.V. Statisticheskaja obrabotka rezul'tatov jeksperimentov. M.: Izdatel'stvo MGU, 1988. 174 p.

16. Jemanujel' N.M., Knorre D.G. Kurs himicheskoj kinetiki. M.: Vysshaja shkola, 1984. 463 p.

17. Marta I. Litter, Natalia Quici Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment // Recent Patents on Engineering. 2010. Vol. 4, no. 3. pp. 217–241.

18. Xiangxuan Liu, Jiantao Liang, Xuanjun Wang Kinetics and Reaction Pathways of Formaldehyde Degradation Using the UV-Fenton Method //Water Environment Research. 2011. Vol. 83, no. 5. pp. 418–426.

Рецензенты:

Яшин А.А., д.т.н., д.б.н., профессор кафедры «Общая патология» Медицинского института, ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула;

Короткова А.А., д.б.н., профессор, заведующая кафедрой биоэкологии и туризма, ФГБОУ ВПО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 339.13

ОСНОВНЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ РАЗВИТИЮ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

[1]Асаул А.Н., [2]Заварин Д.А., [1]Иванов С.Н.

[1]ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: asaul@yandex.ru, app_spb@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет», Вологда, e-mail: zavarin.denis@mail.ru

Проведен анализ состояния научных исследований инновационной деятельности в инвестиционно-строительной сфере. Обобщенный взгляд на новаторскую практику позволил формализовать проблемы исследования инновационной деятельности в инвестиционно-строительной сфере. Выделены основные препятствия в развитии инновационной практики инвестиционно-строительной деятельности, которые не поддерживаются соответствующим изучением теоретических вопросов: затрудненность интеграции инноваций в тендерные процедуры; ограниченность видения типов инноваций; непонимание мультипликативных эффектов; низкий потребительский спрос на качественную строительную продукцию. Выявлен недостаточный уровень исследования ряда теоретических вопросов управления инновационной деятельностью в инвестиционно-строительной сфере: классификация инноваций; инвестиционно-строительный цикл как объект инноваций; оценка экономических результатов внедрения инноваций; организационно-экономические подходы к планированию инвестиционно-строительного цикла; методы оценки эффективности интеграции инноваций.

Ключевые слова: инновационная активность, инвестиционно-строительная сфера, проблема инноваций, трансфер технологий, организационные нововведения, мультипликативный эффект

THE MAIN OBSTACLES OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ACTIVITY IN THE INVESTMENT AND CONSTRUCTION SPHERE

[1]Asaul A.N., [2]Zavarin D.A., [1]Ivanov S.N.

[1]Federal public budgetary educational institution of higher education «Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», Saint-Petersburg, e-mail: asaul@yandex.ru, app_spb@mail.ru;
[2]Federal public budgetary educational institution of higher education «Vologda State University», Vologda, e-mail: zavarin.denis@mail.ru

The analysis of a condition of scientific researches of innovative activity in the investment and construction sphere is carried out. The generalized view of innovative practice allowed to formalize problems of research of innovative activity in the investment and construction sphere. The main obstacles in development of innovative practice of investment and construction activity which aren't supported by the corresponding studying of theoretical questions are allocated: zatrudnennost of integration of innovations into tender procedures; limitation of vision of types of innovations; misunderstanding of multiplicative effects; low consumer demand for qualitative construction production. Insufficient level of research of a number of theoretical questions of management of innovative activity in the investment and construction sphere is revealed: classification of innovations; investment and construction cycle as object of innovations; assessment of economic results of introduction of innovations; organizational and economic approaches to planning of an investment and construction cycle; methods of an assessment of efficiency of integration of innovations.

Keywords: innovative activity, investment and construction sphere, problem of innovations, transfer of technologies, organizational innovations, multiplicative effect

С позиции инновационной активности строительство считается очень консервативным видом экономической деятельности, его часто называют «неповоротливой отраслью» (в английских источниках – «laggard industry») [13]. И это оправданное определение: даже в инновационно развитых европейских странах отчисления на НИОКР в строительстве составляют 0,3–0,5% от оборота [15]. При сопоставлении даже с низкотехнологичным, добывающим сектором европейской промышленности (4% затрат на процессные нововведения [14]), эта величина критично низка. В Российской Федерации затраты на НИОКР в инвестиционно-строительной сфере сопоставимы с международными трендами – они составляют 0,47% от оборота ВЭД «Строительство» (2013 год) и около половины от объема инвестиций в нефинансовые активы, что составляет половину затрат от вложений в нефинансовые активы инвестиционно-строительной сферы, в абсолютном выражении – 3,3 млрд рублей. При этом нельзя преуменьшать научно-исследовательский потенциал инвестиционно-строительной сферы. Будучи заложенным в период до 90-х годов прошлого века, он смог сохранить и развить свои структуру и состав организаций. В настоящее время в национальную строительную систему НИОКР входят 182 научных учреждения в области строительства, более 33000 исследователей, из них 4750 докторов и кандидатов наук

(по данным Росстата, 2014). Но реализация научного потенциала исследовательских учреждений возможна при организационной и технологической готовности строительных организаций к трансферу в инвестиционно-строительный цикл результатов НИОКР. Только при внедрении в строительный проект новейших технологий, материалов, решений реализуется инновация.

Сформулировать основные препятствия развитию инновационной активности (подробнее см. [5, 9]) можно только после выявления объективных и субъективных препятствий трансферу технологий в инвестиционно-строительный цикл. Компиляция и анализ взглядов на проблему реализации инновационного потенциала инвестиционно-строительной сферы в среде практикующих специалистов и экспертов позволили сформулировать пять обобщенных позиций:

1) *недопонимание менеджерами, осуществляющими свою деятельность в строительстве, вероятных выгод от внедрения инноваций*. В первую очередь затруднены оценки экономических результатов интеграции новаций в инвестиционно-строительный цикл. Однако «недопонимание», «затрудненность оценки» – это только отображение настоящей внутренней проблемы научно-исследовательского сектора в региональном ИСК – неумение коммерциализировать, внедрять результаты НИОКР. Создатели инновационных материалов и технологий в своих предложениях никак не декларируют ни безусловной денежной выгоды донора новации, ни даже способов ее оценки в рамках инвестиционного-строительного проекта. Они (создатели) рассматривают новое продуктовое либо процессное решение как объект, улучшающий какую-либо сторону строительного процесса, а объяснение выгод сдерживают указанием изменения технического параметра. Из буклетов, предлагающих инновационную продукцию: «повышение износостойкости покрытия на 7,2 %», «увеличение срока службы красочного слоя до 12 лет», «рост допустимой нагрузки на основание на 15 %» и т.п. Для удачной коммерциализации результатов НИОКР нужен метод интерпретации технико-технологических превосходств продукта (технологии) в экономические эффекты инвестиционного проекта [8]. Создатели, вооруженные таким методом, алгоритмом, сумеют прозрачно представлять проектировщикам, строительным организациям и инвесторам финансовые выгоды применительно к инвестиционно-строительному циклу как в формате удельных характеристик, так и в отношении определенных инвестиционных проектов;

2) *затрудненность интеграции инноваций в тендерные процедуры*. В настоящее время законодательство и требования частных организаций (генеральных подрядчиков, технических заказчиков) в рамках государственного строительного заказа не позволяет сформулировать требования к инновационности продуктов и процессов [7, 10]. Дело в том, что международное и российское законодательство трактует «инновацию» достаточно широко: любое нововведение для единичной организации, вне зависимости от его распространенности в отрасли или мире, формально и законодательно является «инновацией» (более подробно эта тема раскрыта в работе [6]). Такой высокий уровень неопределенности (наследуемый и в нормативной базе Российской Федерации, регламентирующей инновационную деятельность) не позволяет сформулировать конкретные требования к уровню моральной, технической новизны закупаемого продукта или процесса. А попытка сформулировать точные технические признаки закупки вступают в противоречие с Федеральным законом № 94-ФЗ «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд» или рассматриваются как коррупция. Например, поставщиков нанобетона в Санкт-Петербурге две организации, и если заявить в ТУ подрядного конкурса на поставку бетонных смесей «нанобетон», то неизбежно подпадем под подозрение в коррупции. С другой стороны, конкурсные процедуры построены на выборе потребителя с самой низкой ценой, а большинство инноваций «стоят дорого». Сама логика инновации (в ряде случаев) подразумевает объективное и обоснованное право на более высокую цену, чем конкурентная продукция. Невозможность формулировки критериев новизны, объективного сравнения уровня новизны для строительной продукции и процессов, не позволяет участвовать в подрядных конкурсах с инновационной продукцией;

3) *ограниченность видения типов инноваций*. Менеджеры видят только продуктовые новации (новые виды строительных материалов) и не воспринимают (не видят) потенциал возможностей процессных, организационных и маркетинговых новшеств [3, 4]. В научной литературе обсуждение инноваций в строительстве (таблица) сводится к новым «строительным материалам» (39,1 % публикаций) и «энергосбережению» (32,3 %). При этом мировые практика и наука фокусируются в большей степени на совершенствовании технологии строительства, процессных инновациях (34,2 % публикаций по базам данных EBSCO Publishing, Scopus).

Структура исследуемых вопросов в публикациях, индексируемых как «инновации» и «строительство» EBSCO Publishing, Scopus, РИНЦ, 2014

Вопрос	Доля статей, %[1]
Строительные материалы	39,1
Энергосбережение	32,3
Проектирование	31,7
Информационные технологии	22,3
Изыскательские работы	12,4
Механизмы финансирования	9,3
Эксплуатация объектов	8,4
Строительный процесс	7,2
Страхование	5,4
Инновационная инфраструктура	4,2
Экономическая эффективность	3,2
Инвестиционно-строительный цикл	1,2
Классификация инноваций	0,73

[1] Сумма может быть больше 100 % в силу того, что отдельные статьи посвящены нескольким вопросам.

Организационные нововведения, оптимизирующие накладные расходы через сокращение длительности контрактных и коммуникационных взаимодействий субъектов регионального ИСК. Маркетинговые инновации вообще не характерны для новаторской практики инвестиционно-строительной сферы. А так как они направлены на сокращение срока экспозиции строительной продукции, позволяющего сократить длительность инвестиционно-строительного цикла, в итоге – повысить финансовые результаты капиталовложений [12, 2]. Таким образом, из поля зрения менеджеров выпадает целый блок инноваций, чье воздействие на продолжительность и результативность вложений объективно;

4) *недопонимание мультипликативных эффектов.* Под мультипликативным эффектом принято понимать отнесение инвестиций в инновации и их итоги к разным по отношению к «собственнику» (исполнителю) этапам и операциям инвестиционно-строительного цикла. К примеру, инновации в проектных и изыскательских работах имеют все шансы увеличивать их длительность и стоимость, однако уменьшать продолжительность и стоимость строительного цикла. Вложения в новации на этапе проектирования и изыскательства, а экономические выгоды на строительном этапе. Обычная практика контрактного разделения процессов закупки проектных, изыскательских работ и генерального подряда на застройку приводит к невозможности оценки мультипликативного эффекта на разных стадиях инвестиционно-строительного цикла. Состязательный принцип (как барьер № 2) выделения операций инвестиционно-строительного цикла никак не увеличивает стоимость работ, заложить в них инновационные решения, если они не обнаруживают выгоду на том же этапе. Обнаруживается, что нововведения, консолидирующие вложения и выгоду на одном этапе, обычно не высоки с позиции результатов (1–5 %). Но мировая практика показывает, что наиболее результативно влияют (более 10 %) на инвестиционную стоимость проекта комплексные технологические инновации, изменяющие структуру товара и технологий всех этапов цикла. Именно поэтому контрактное, конкурсное деление на этапы плохо воздействует на процесс трансфера технологических инноваций в цикл (об этом в работе [14]). Нужно отыскать наиболее «высокую» точку зрения (чем менеджеры этапов) на результаты инвестиционно-строительного цикла – на уровне генерального подрядчика, технического заказчика или инвестора;

5) *низкий потребительский спрос на качественную строительную продукцию*. Это препятствие объективно продиктовано актуальной характеристикой позиции инвестиционно-строительной сферы как «рынка продавца», доминирования дефицита предложения объектов недвижимости эконом класса на большинстве региональных рынков.

Массовый потребительский рынок, как правило, смотрит в сторону более низких цен, закрывая глаза на снижение технического качества строительной продукции. Конкретно эта тенденция просматривается в перспективе ближайших 10 лет до насыщения рынка. С другой стороны, беспристрастная и невысокая информированность покупателя о параметрах качества строительной продукции. Категория «качества» тесно связана с понятием инновационности, моральной новизны строительной продукции. Потребитель не информирован (со стороны разработчиков, производителей) об инновациях, соответственно, не формулирует требований к застройщику. Первоначально должен быть «создан запрос на инновации» у потребителя, а внедрение вторично произойдет под давлением рынка [15]. Формирование платежеспособного спроса становится точкой роста профильной инновационной активности в инвестиционно-строительной сфере.

В отношении выделенных 1800 научных работ (индексированных «инновации» и «строительство») изучена структура вопросов, рассматриваемых в публикации. Отнесение публикации к вопросу определялось дополнительными ключевыми словами, индексирующими публикацию. Наиболее часто встречались 13 ключевых слов, образующих соответствующие группы (таблица). Во главе списка четыре проблематики: строительные материалы; энергосбережение; проектирование; информационные технологии.

Выводы и обобщения

1. Сделана экспертная оценка уровня инновационности ВЭД «Строительство». Найден критически низкий уровень инновационной активности инвестиционно-строительной сферы в целом.

2. Сформулировано пять преград развития инновационной активности в инвестиционно-строительной деятельности: недопонимание практикующими менеджерами вероятных выгод от введения инноваций; затрудненность интеграции инноваций в тендерные процедуры; ограниченность видения типов инноваций; недопонимание мультипликативных эффектов; низкий потребительский спрос на качественную строительную продукцию.

3. Выявлена недостаточная степень исследования ряда теоретических вопросов управления инновационной деятельности в строительстве: классификация инноваций; инвестиционно-строительный цикл как объект инноваций; оценка экономических результатов внедрения инноваций; организационно-экономические подходы к планированию инвестиционно-строительного цикла; методы оценки эффективности интеграции инноваций.

Работа выполнена в рамках НИР темплана СПбГАСУ, «Исследование и анализ основных факторов, влияющих на эффективность инновационной и инвестиционной деятельности в строительном комплексе».

Список литературы

1. Асаул А.Н., Заварин Д.А. Внедрение ключевых инноваций по видам и этапам инвестиционно-строительного цикла // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 5. – С. 133–140.

2. Асаул А.Н., Кощеев В.А. Формирование государственного строительного заказа на основе маркетинго-ориентированного подхода // Sworld. – 2008. – № 2. – С. 78–84.

3. Асаул М.А., Мещеряков И.Г. Инновационная экономика и организационные нововведения // Транспортное дело России. – 2014. – № 2. – С. 107–109.

4. Асаул А.Н., Мещеряков И.Г. Принципы и подходы использования организационных инноваций в предпринимательских структурах // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 3(38). – С. 143–150.

5. Асаул А.Н., Ткачёв С.А. Оценка уровней деловой активности субъектов предпринимательской деятельности // Вестник Коми республиканской академии государственной службы и управления. – 2011. – № 9 (14). – С. 148–156.

6. Введение в инноватику / А.Н. Асаул, В.В. Асаул, Н.А. Асаул, Р.А. Фалтинский. – СПб.: АНО ИПЭВ, 2010. – 280 с.

7. Государственное предпринимательство в строительстве (государственный строительный заказ) / А.Н. Асаул, В.А. Кощеев. – СПб.: АНО ИПЭВ, 2009. – 300 с.

8. Организация предпринимательской деятельности / А.Н. Асаул, М.П. Войнаренко, П.Ю. Ерофеев. – СПб.: Гуманистика, 2004. – 448 с.

9. Производственно-экономический потенциал и деловая активность субъектов предпринимательской деятельности / А.Н. Асаул и др.. – СПб.: АНО ИПЭВ, 2011. – 312 с.

10. Теория и практика организации и проведения подрядных торгов в регионе / А.Н. Асаул, В.П. Грахов, В.А. Кощеев, И.Е. Чибисов. – СПб.: Гуманистика, 2005. – 240 с.

11. Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России / А.Н. Асаул и др. – СПб.: Гуманистика, 2005. – 563 с.

12. Asaul A., Ivanov S. Structure of transactional costs of business entities in construction // World Applied Sciences Journal. – 2013. –Vol. 23, № 13. – P. 80–83.

13. Multi--Level Apartment Costing Analysis Dincel –Vs– Conventional Construction, 2011.

14. Miozzo,Marcela, Dewick Paul. Networks and innovation in European construction: benefits from inter-organisational cooperation in a fragmented industry. International Journal of Technology Management. 2004. – Vol. 27, Issue 1. – P. 68–89.

15. Rankin J.H.; Luther R. The innovation process: adoption of information and communication technology for the construction industry // Canadian Journal of Civil Engineering. Dec. – 2006. – Vol. 33, Issue 12. – P. 1538–1546.

References

1. Asaul A.N., Zavarin D.A. Vnedrenie Kljuchevyh Innovacij Po Vidam I Jetapam Investicionno-Stroitel'nogo Cikla // Vestnik Grazhdanskih Inzhenerov. 2014. no. 5. pp. 133–140.

2. Asaul A.N., Koshheev V.A. Formirovanie gosudarstvennogo stroitelnogo zakaza na osnove marketingo-orientirovannogo podhoda // Sworld, 2008. no. 2. pp. 78–84.

3. Asaul M.A., Meshherjakov I.G. Innovacionnaja jekonomika i organizacionnye novovvedenija // Transportnoe delo Rossii. 2014. no. 2. pp.107–109.

4. Asaul A.N., Meshherjakov I.G. Principy i podhody ispol'zovanija organizacionnyh innovacij v predprinimatelskih strukturah // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2013. no. 3(38). pp. 143–150.

5. Asaul A.N., Tkachjov S.A. Ocenka urovnej delovoj aktivnosti subektov predprinimatelskoj dejatelnosti // Vestnik Komi respublikanskoj akademii gosudarstvennoj sluzhby i upravlenija. 2011. no. 9 (14). pp. 148–156.

6. Vvedenie v innovatiku / A.N. Asaul, V.V. Asaul, N.A. Asaul, R.A. Faltinskij. SPb: ANO IPJeV, 2010, 280 p.

7. Gosudarstvennoe predprinimatelstvo v stroitelstve (gosudarstvennyj stroitelnyj zakaz) / A.N. Asaul, V.A. Koshheev. SPb.: ANO IPJeV, 2009. 300 p.

8. Organizacija predprinimatelskoj dejatel'nosti / A.N. Asaul, M.P. Vojnarenko, P.Ju. Erofeev. SPb.: Gumanistika, 2004. 448 p.

9. Proizvodstvenno-jekonomicheskij potencial i delovaja aktivnost' subektov predprinimatel'skoj dejatel'nosti / A.N. Asaul i dr.. SPb.: ANO IPJeV, 2011. 312 p.

10. Teorija i praktika organizacii i provedenija podrjadnyh torgov v regione / A.N. Asaul, V.P. Grakhov, V.A. Koshkheev, I.E. Chibisov. SPb.: Gumanistika, 2005. 240 p.

11. Teorija i praktika malojetazhnogo zhilishhnogo stroitel'stva v Rossii / A.N. Asaul i dr. SPb.: Gumanistika, 2005. 563 p.

12. Asaul A., Ivanov S. Structure of transactional costs of business entities in construction. World Applied Sciences Journal, 2013.Vol.23, no. 13, pp. 80–83.

13. Multi-Level Apartment Costing Analysis Dincel –Vs– Conventional Construction, 2011.

14. Miozzo Marcela, Dewick Paul. Networks and innovation in European construction: benefits from inter-organisational cooperation in a fragmented industry. International Journal of Technology Management. 2004, Vol. 27 Issue 1, pp. 68–89.

15. Rankin J.H.; Luther R. The innovation process: adoption of information and communication technology for the construction industry. Canadian Journal of Civil Engineering. Dec. 2006, Vol. 33 Issue 12, pp. 1538–1546.

Рецензенты:

Песоцкая Е.В., д.э.н., профессор, главный научный сотрудник, АНО ИПЭВ, г. Санкт-Петербург;

Кощеев В.А., д.э.н., доцент, президент АНО «Уральский научный центр», г. Ижевск.

Работа поступила в редакцию 18.02.2015.

УДК 338.24

ПРОЦЕССЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

Баранов С.В.

ФГБУН «Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина» Кольского научного центра РАН, Апатиты, e-mail: bars.vl@gmail.com

В статье рассматривается отражение в современной реальности результатов исследования по проекту, поддержанному грантом РФФИ в 2005–2006 гг. № 05-06-97504 «Прогноз издержек легализации и определение перспектив альтернативного развития программного обеспечения (на примере Мурманской области)». Представлены тенденции информатизации и ограничивающие факторы, характерные для экономики России. Определено, что эти факторы по-прежнему являются ограничителями, но их острота существенно сглажена за счет объективных экономических процессов и управления. Приведены данные, свидетельствующие о распространенности использования нелегального программного обеспечения в период 2003–2006 гг., приведен прогноз издержек легализации программного обеспечения. Обсуждены позитивные и негативные эффекты легализации программного обеспечения. Аргументирована необходимость альтернативного развития программ свободной модели, минимизирующей издержки легализации. Констатируется, что в России с 2010 г. реализуется план перехода органов власти и управления, бюджетных учреждений на использование свободного программного обеспечения. Делается вывод, что результаты проекта не только развили теоретико-методологические вопросы экономики информационного общества, но и определили новый путь информатизации, сокращающий издержки легализации, формирующий условия для развития РФ на базе высоких технологий и импортозамещения.

Ключевые слова: информатизация, регулирование, программное обеспечение, издержки легализации, фундаментальное исследование

PROCESSES OF INFORMATIZATION IN RUSSIA: PROBLEMS AND ACHIVEMENTS

Baranov S.V.

The Institute of Economic Problems, Kola Science Center Russian Academy of Sciences, Apatity, e-mail: bars.vl@gmail.com

This article is considering the reflection in modern reality of research results of the project supported by the grant of RFFI in years 2005–2006 № 05-06-97504 «Forecast of limitations of legalization and determination of perspectives for alternative development of software (based on the example of Murmansk region)». Presented tendencies of informatization and limitation factors specific to Russian economy. It is estimated that these factors are still limiting but objective economic processes and management smooth its importance. Presented data indicates the distribution of usage of illegal software during years 2003–2006, shown forecast of limitations in legalization of software. Discussed positive and negative effects of legalization on software. Reasoned the necessity of alternative development of programs of free model, which could minimize the limitations of legalization. Stated that in Russia since 2010 realizing the plan of transition of authorities and budgetary institutions on using free software. It is concluded that the results of the project not only developed the theoretical and methodological questions of economics of informational society but also defined new ways of informatization that minimize the limitations of legalization forming the conditions for developing Russian Federation on the bases of technologies and informatilization.

Keywords: informatization, regulation, software, limitation of legalization, fundamental research

С каждым годом процессы общественного развития все теснее связываются с движением информационного пространства, формированием кибернетической модели глобализации. Фактически именно уровень развития сетевой информатизации становится своеобразной мерой оценки потенциала территорий, как с позиций экономики, так и с позиций развития человеческого капитала [1, с. 87–94; 7; 8; 13]. Поэтому тематика научно-исследовательских работ (НИР), направленная на освещение проблем информатизации общества, несомненно актуальна. Это отображается в значительном количестве научных проектов по этим проблемам, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ). Одним из таких проектов явился проект № 05-022-97504.

О проблеме, рассматриваемой в проекте. В 2005–2006 гг. выполнялся проект № 05-022-97504 «Прогноз издержек легализации и определение перспектив альтернативного развития программного обеспечения (на примере Мурманской области)», поддержанный РФФИ и администрацией Мурманской области по региональному конкурсу РФФИ «Север». В те годы в нашей стране остро стояла проблема неформальных, нередко противозаконных

практик в общественной жизни, в том числе и в сфере использования информационных технологий [3; 4; 15]. Вместе с тем в ряде работ ведущих экономистов обоснованно указывалось не только на отрицательный, но и на положительный характер влияния на экономику господствующих неформальных правил. Другая особенность того периода – это активное вовлечение России в процессы информатизации, с практических позиций, обозначенное в федеральной целевой программе (ФЦП) «Электронная Россия 2002–2010». Востребованность информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) экономикой требует понятных, прозрачных и легальных «правил игры» (иначе говоря, «институциональной среды»). Это противоречие – классическая иллюстрация циклически-волнового характера развития общества. Так, можно констатировать, что прогресс (тенденция к усложнению) и деградация (тенденция к упрощению, хаосу) теснейше взаимосвязаны, подобно тому, как неотделимы порядок и хаос, что наглядно демонстрируется в классической работе Пригожина и Стенгерс [2]. Неформальные практики явились своеобразной защитой от неэффективных формальных институтов, но в новой фазе они становятся уже тормозом, ведут к деградации национальной экономики в связи с новой потребностью формирования цивилизованной институциональной среды и экономических отношений, находящихся в общемировом тренде общественного развития [подробнее см.: 9; 11; 14; 15]. Поэтому столь значима решаемая в этом проекте проблема экономики высоких технологий, связанная с выявлением наиболее приемлемой модели спецификации и защиты авторских прав в сфере программного обеспечения (ПО), определяющей состояние, эволюцию информатизации и возможности опережающего развития России в области высоких технологий.

Специфика информатизации: проблемы прошлого в настоящем. Особенность авторского подхода при исследовании информатизации заключалась в том, что в качестве эмпирических данных для оценки тенденций и ограничивающих факторов информатизации являлись не только данные статистики, но и результаты анкетирования и интервью с руководителями предприятий и организаций, работниками, системными администраторами. Сообщенные ими количественные и качественные данные имели обобщенный характер, т.к. в ходе опросов интервьюерами подчеркивалась необходимость ориентироваться не только на личный опыт и знания, но и учитывать аналогичный опыт партнеров, коллег и т.д. В результате были получены данные об особенностях информатизации, качестве типового ПО, легальности ПО, которые соотносились с оценками зарубежных специалистов. Количественные данные о масштабе распространения типового ПО, его легальности использованы при апробации методики оценки издержек легализации типового ПО для экономики Мурманской области и России в целом.

В рамках проекта исследованы динамика и особенности информатизации экономики РФ и Мурманской области (1995–2005 гг.). Установлено, что во всех отраслях экономики наблюдался активный рост оснащенности персональными компьютерами (ПК); так же росла доля компьютеров, подключенных к сети Интернет. Опросы показали, что на протяжении 2003–2006 гг. основными факторами, сдерживающими рост и эффективность использования информационных технологий, являлись: из экономических – недостаток денежных средств; из производственных – нехватка квалифицированных специалистов в данной области, недостаток знаний и навыков у работников организаций; из технологических – неудовлетворительная защита информации от несанкционированного доступа, воздействия компьютерных вирусов, неудовлетворительное качество связи [подробнее см.: 3; 4; 15].

Прошло почти 10 лет, но эти факторы по-прежнему являются ограничителями. Однако их острота существенно сглажена за счет объективных экономических процессов и управленческих усилий: облегчен доступ к финансовым ресурсам, снизилась стоимость оборудования и ПО, разработаны специализированные обучающие многопрофильные программы, организован процесс обучения и переобучения работников, усилена защита информации от типовых форм несанкционированного доступа и компьютерных вирусов и т.д. [2; 5; 10] Представление результатов проекта РФФИ № 05-022-97504 не только в публикациях и на научных конференциях, но и в аналитических записках по запросам органов государственной власти, пакетах предложений в рамках разработки стратегических документов в сфере инновационного развития Северо-Запада РФ, Мурманской области позволяет утверждать, что разработки по проекту нашли свое плодотворное применение в управлении процессами формирования информационного общества. И этот практический результат демонстрирует целесообразность конкурсов региональных проектов, поддерживаемых не только РФФИ, закономерно ожидающего результатов фундаментального характера,

но и администрациями соответствующих регионов, которые, пусть и далеко не всегда, учитывали относительно независимое мнение ученых в практике управления.

О легальности программного обеспечения и критериях его выбора. Также в рамках этого проекта в 2005 и 2006 гг. на основании проведенного интервьюирования системных администраторов было определено, что типовым ПО для всех отраслей экономики является продукция компании Microsoft[1], кроме того, установлено, что доля использования нелегального ПО составляла около 90%[2]. Для поиска решения проблемы легальности была выполнена задача по разработке критериев пользователя при обращении к легальной и нелегальной версии ПО, пирата (распространителя нелегального ПО) и взломщика (злоумышленника, который нелегально модифицирует ПО с целью преодоления его защиты). Значимость этой задачи состоит в том, что до недавних пор основной акцент в исследованиях, посвящённых проблемам защиты ПО, делался на программно-технические методы защиты программ. На второе место ставился юридический аспект защиты авторских прав на ПО. Экономический аспект анализа отношений между производителем, покупателем ПО и злоумышленником практически не исследовался. В рамках проекта исследовались именно экономические мотивы, определяющие поведение потребителя нелегального ПО и злоумышленника. Разработка критериев осуществлялась на основе экономической теории преступности. Интерпретация результатов моделирования позволила сделать вывод, что в общем случае потребитель выберет легальную копию только при условии, что издержки на ее приобретение с учетом возможного наказания не превысят издержек на приобретение нелегальной копии [4]. Т.е. цена легальной копии должна быть не больше, чем цена пиратской копии плюс произведение вероятности поимки на сумму убытка при уличении в нелегальном использовании ПО[3].

Казалось бы, должен следовать логичный вывод о необходимости ужесточения наказания за пользование нелегальным ПО и усиление вероятности этого наказания. Но любое фундаментальное исследование исходит из сложности реальности, из того, что любой теоретический вывод, воплощенный в практику управления, создает не только положительные эффекты, но и порождает целый спектр отрицательных, формируя новые проблемы. Поэтому в проекте были исследованы эффекты легализации ПО в России.

Эффекты легализации программного обеспечения. Положительные макроэкономические эффекты связаны с повышением привлекательности страны в силу обеспечения легальной институциональной среды ведения бизнеса, а также возможностью активного вовлечения отечественных разработчиков программ для платформы Windows в процесс создания легального ПО и, соответственно, ростом продаж отечественных продуктов за рубеж. Последний фактор не только увеличит валовой национальный продукт (ВВП), но и будет формировать его на базе развития высоких технологий, дающих, как известно, наибольшую прибыль.

Среди негативных эффектов легализации ПО прослеживаются следующие.

Первый эффект – легализация ПО очень дорога.

Для оценки цены легализации впервые в рамках этого проекта на основе авторской методики [3, 4] выполнена задача прогноза издержек легализации ПО для всей РФ, а также более детальный прогноз по отраслям экономики для Мурманской области (прогноз включал абсолютные оценки и ежегодный прирост издержек). Учитывая масштабность прогноза, здесь приведем лишь часть прогноза[4]. Прогноз по России в целом: минимальные издержки легализации типового ПО при условии выполнения законов об интеллектуальной собственности, составили бы в 2003 г. – $1114,7 млн, в 2004 г. – $1224,2 млн, в 2005 г. – $1344,5 млн. Для сравнения – это составляет около 8% от размера стабилизационного фонда РФ по состоянию на начало 2005 г.

Второй негативный эффект легализации – поскольку основным получателем прибыли от легализации является иностранная компания, это стимулирует отток денежных средств из страны.

[1] На 8 из 10 ПК установлена операционная система из семейства Microsoft Windows и пакет офисных программ из семейства Microsoft Office, что позволяет считать это ПО типовым.

[2] Причины крайне разнообразны – некоторые менеджеры не знали, что они используют нелегальные версии ПО, другие – не готовы были платить больше привычных 3–4 долларов за программу.

[3] Аналогично в проекте сформулирована экономическая оценка выгоды от нелегального тиражирования и продажи ПО.

[4] В оценку включены операционные системы семейства Microsoft Windows и пакет офисных программ из семейства Microsoft Office. Эта оценка издержек легализации является минимальной, поскольку учитывает лишь базовое ПО, не учитывает средств разработки, управления базами данных и т.д., также не учитывается ПО, используемое населением и возможные штрафные санкции за многолетнее использование нелегального ПО как предприятиями, так и населением.

Третий – эффект широкого распространения типового ПО снижает возможности перехода на альтернативное в связи:

1) с экономической необходимостью отработки затраченных средств на приобретение программ в цикле незавершенного производства;

2) с отсутствием возможности выбора и замены программ из-за возможного отклонения новых программ от стандартов предшествующих.

Четвертый негативный эффект – обсуждаемая распространенность ПО порождает ориентацию школьного и высшего образования на изучение и использование именно этого типового ПО. В условиях современной невысокой компьютерной грамотности населения России, низкого рейтинга большинства высших учебных заведений в подготовке компьютерных специалистов, последнее обстоятельство может особенно негативно сказаться на перспективах развития высоких технологий в регионах России.

Вместе с тем несмотря на явный «перевес» негативных эффектов легализация неизбежна. Эта неизбежность определяется международными требованиями и необходимой синхронизацией социально-экономических процессов в России с общемировыми трендами общественного развития [4, 9]. То есть вопрос не может быть поставлен – платить или не платить за типовое ПО? В рамках исследования по проекту был задан иной вопрос – есть ли какие-нибудь альтернативные варианты? Что делают другие страны, обладающие еще большей информатизацией экономики и социальной сферы? Что делает, например, тот же Китай, при вхождении в ВТО тоже вставший перед этой проблемой, которому требуется несопоставимо больше экземпляров программ? Поиск альтернативных решений проблемы легализации в проекте был связан с рассмотрением моделей спецификации прав собственности на ПО, их влиянием на структуру издержек хозяйствующих субъектов, оценку полной стоимости владения ПО, различиями программ, созданных в рамках различных моделей. Рассмотрим некоторые из полученных результатов.

Альтернативы информатизации: модели открытого и закрытого программного обеспечения. Существуют две принципиально различные модели спецификации и защиты авторских прав на ПО и, как следствие, его использования – это свободное и закрытое ПО.

Закрытое ПО – это модель, при которой правообладатель удерживает ряд прав. В частности, запрещено повторное распространение или изменение программы; для большинства ПО исходный код закрыт, что делает невозможной модификацию программ под конкретные нужды (пример – продукция Microsoft).

Свободное ПО – это модель, при которой набор имущественных прав передается владельцу каждого экземпляра программы. Соответственно предоставляются права свободно распространять копии, получать исходный код, изменять ПО и использовать части ПО для создания новых программ. Технологическая возможность реализации этих прав обеспечивается обязательной доступностью исходного кода программ. Юридическая возможность – условиями распространения, предоставляющими каждому пользователю обозначенные права (пример современного мира – Android, впервые выпущенный в смартфонах HTC в 2008 г., а с 2009 г. в смартфонах Samsung).

При оценке структуры издержек пользователей при обращении к той или иной модели учитывалось, что ПО – это сложный объект потребления, соответственно в издержки включается не только стоимость приобретения самого ПО, но и стоимость необходимого оборудования, стоимость администрирования и сопровождения ПО, стоимость приобретения необходимых навыков у сотрудников, убытки от сбоев и простоев как результатов эксплуатации ПО.

Установлено, что, в отличие от модели закрытого ПО, при использовании открытых программ, как правило, наблюдаются меньшие издержки общего пользования ПО, обусловленные доступностью исходных кодов:

1) отсутствие проблемы лицензирования исключает издержки при приобретении любого количества экземпляров программы;

2) возможность модификации программы под конкретные задачи;

3) поддержка ПО может производиться любой группой квалифицированных программистов, а не только компанией-монополистом, что снижает издержки администрирования и сопровождения [подробнее см.: 1, с. 91–115; 15].

Анализ ситуации с ПО показал, что уже в 2006 г. проявлялась устойчивая тенденция – свободное ПО в России и за рубежом становилось все более популярным[5] [1, с. 105–109]. Характерным для рынка РФ является все большее распространение свободного ПО в профессиональной сфере деятельности компьютерных специалистов

[5] Исследование показало, несмотря на общность тенденции роста свободного ПО в экономиках развитых стран, масштабы его распространения в разных странах существенно отличаются.

и меньшее, в отличие от зарубежных стран, распространение среди рядовых пользователей [2]. Причины – огромный масштаб распространения нелегальных копий закрытых программ, обучение в вузах и школах работе с закрытым ПО, возможное лоббирование своих интересов Microsoft на рынке РФ.

Исследование макроэкономических эффектов для России при преимущественном развитии модели закрытого или модели открытого ПО позволило сделать вывод о целесообразности применения модели свободного ПО. Для реализации этого пути в проекте на основе сравнения экономических эффектов от различных вариантов распределения правомочий между государством и создателями программ были разработаны рекомендации по участию государства как заказчика и правообладателя программ с целью минимизации издержек легализации ПО и формирования условий для развития России на базе высоких технологий.

Заключение

Предложения по активизации процессов информатизации и преодолению ограничивающих факторов нашли свое применение в практике государственного управления. Несколько иная ситуация сложилась с предложениями, касающимися перехода на преимущественное использование свободного ПО в экономике и управлении. Предложения по участию государства в создании ПО открытой модели не находили поддержки в 2005–2006 гг. Однако сейчас ситуация кардинально изменилась. В декабре 2010 г. премьер-министром В. Путиным было подписано распоряжение Правительства РФ «О плане перехода федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на использование свободного программного обеспечения (2011–2015 годы)». Согласно прилагаемому к распоряжению плану, окончательное внедрение в федеральных органах исполнительной власти и подведомственных бюджетных учреждениях пакета базового свободного ПО и пакетов дополнительных прикладных программ ожидается к III кварталу 2014 г. Для реализации этого проекта в апреле 2011 г. была утверждена национальная программная платформа (сообщество российских компаний-разработчиков ПО, а также научных и госучреждений (1С, Abbyy, «Альт Линукс», «Крипто-про», ИПУ РАН, ИСП РАН, МГТУ им. Баумана, «АйТи», «Воентелеком» и др.). Среди целей перечисляются импортозамещение, национальная безопасность, ликвидация отставания в уровне использования ИТ в экономике и повышение конкурентоспособности отечественных разработок на мировом рынке [подробнее см.: 2, 5, 12]. Целеполагание и этапы перехода на преимущественное использование свободного ПО в экономике и управлении соответствуют разработкам, выполненным в рамках проекта РФФИ № 05-022-97504. Следует заключить, что современная политика России в сфере информатизации отвечает международному опыту и национальным интересам России. К сожалению, движение по пути активной поддержки разработки собственного ПО начато как минимум на несколько лет позже возможного Следует отметить и значение исследований, поддерживаемых грантами научных фондов и региональными правительствами для социально-экономического сбалансированного развития территорий РФ.

Исследование выполнено при поддержке гранта РГНФ № 14-02-00128 «Трансформация социально-экономического пространства Севера России и альтернативы развития».

Список литературы

1. Баранов С.В. Анализ и моделирование региональных систем (на примере зоны Севера): монография. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 147 с.

2. Баранов С.В. Информационно-коммуникационные технологии в России: о проблемах и победах // Информационное общество. – 2012. – № 2. – С. 52–60.

3. Баранов С.В., Скуфьина Т.П. Программное обеспечение в России: ситуация, проблемы, оценка издержек легализации, способы их минимизации // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 4. – С. 70–81.

4. Баранов С.В., Скуфьина Т.П. Анализ информатизации Мурманской области и оценка издержек легализации типового программного обеспечения // Вопросы статистики. – 2006. – № 3. – С. 84–87.

5. Баранов С.В., Скуфьина Т.П. Информационно-коммуникационные технологии и экономическое развитие регионов России: поиск зависимостей и перспективных направлений регулирования // Вопросы статистики. – 2014. – № 5. – С. 41–53.

6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

7. Самарина В.П. Проблемный регион как объект анализа и управления // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2008. – № 5. – С. 46–52.

8. Самарина В.П. Рискни идеей! Особенности развития венчурного предпринимательства в России // Российское предпринимательство. – 2008. – № 1. – С. 9–13.

9. Скуфьина Т.П. Региональное развитие России в контексте глобальных процессов // Пространственная экономика. – 2007. – № 4. – С. 26–39.

10. Скуфьина Т.П. Развитие северных территорий: процессы информатизации // Экономика. Предпринимательство. Окружающая среда. – 2010. – Т. 2. – С. 26–31.

11. Скуфьина Т.П. Анализ развития сотовой связи // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 18. – С. 20–24.

12. Скуфьина Т.П. Уровень развития ИКТ и зависимость от социально-экономического положения регионов

России // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 398.

13. Скуфьина Т.П. Комплексные фундаментальные исследования Севера и Арктики: некоторые результаты и перспективы развития при поддержке грантов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 268.

14. Скуфьина Т.П., Самарина В.П. Особенности социально-экономического развития областей центрального Черноземья // Федерализм. – 2008. – № 1 (49). – С. 55–66.

15. Baranov S., Skufina T. Analysis of informatization of Murmansk region economy and estimating of legalization costs of typical software // Applied Information Technology Research – Articles by Coopertive Science Network / University of Lapland, Department of Research Methodology Reports, Essay and Working Papers. – Lapin yliopistopaino, Rovaniemi, 2007. – P. 60–66.

References

1. Baranov S.V. Analiz i modelirovanie regional'nyh sistem (na primere zony Severa) / Monografija. Voronezh: VGU, 2005. 147 pp.

2. Baranov S.V. Informacionno-kommunikacionnye tehnologii v Rossii: o problemah i pobedah // Informacionnoe obshhestvo. 2012. no. 2. pp. 52–60.

3. Baranov S.V., Skufina T.P. Programmnoe obespechenie v Rossii: situacija, problemy, ocenka izderzhek legalizacii, sposoby ih minimizacii // Problemy prognozirovanija. 2004. no. 4. pp. 70–81.

4. Baranov S.V., Skufina T.P. Analiz informatizacii Murmanskoj oblasti i ocenka izderzhek legalizacii tipovogo programmnogo obespechenija // Voprosy statistiki. 2006. no. 3. pp. 84–87.

5. Baranov S.V., Skuf'ina T.P. Informacionno-kommunikacionnye tehnologii i jekonomicheskoe razvitie regionov Rossii: poisk zavisimostej i perspektivnyh napravlenij regulirovanija // Voprosy statistiki. 2014. no. 5. pp. 41–53.

6. Prigozhin I., Stengers I. Porjadok iz haosa. Novyj dialog cheloveka s prirodoj. M.: Progress, 1986. 432 p.

7. Samarina V.P. Problemnyj region kak obekt analiza i upravlenija // Nacional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'. 2008. no. 5. pp. 46–52.

8. Samarina V.P. Riskni ideej! Osobennosti razvitija venchurnogo tpredprinimatel'stva v Rossii // Rossijskoe predprinimatel'stvo. 2008. no. 1. pp. 9–13.

9. Skufina T.P. Regional'noe razvitie Rossii v kontekste global'nyh processov // Prostranstvennaja jekonomika, no. 4, 2007. pp. 26–39.

10. Skufina T.P. Razvitie severnyh territorij: processy informatizacii // Jekonomika. Predprinimatel'stvo. Okruzhajushhaja sreda. 2010. T. 2. pp. 26–31.

11. Skufina T.P. Analiz razvitija sotovoj svjazi // Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika. 2011. no. 18. pp. 20–24.

12. Skufina T.P. Uroven' razvitija IKT i zavisimost' ot social'no-jekonomicheskogo polozhenija regionov Rossii // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. no. 6. pp. 398.

13. Skufina T.P. Kompleksnye fundamental'nye issledovanija Severa i Arktiki: nekotorye rezul'taty i perspektivy razvitija pri podderzhke grantov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 1. pp. 268.

14. Skufina T.P., Samarina V.P. Osobennosti social'no-jekonomicheskogo razvitija oblastej central'nogo Chernozem'ja // Federalizm. 2008. no. 1 (49). pp. 55–66.

15. Baranov S., Skufina T. Analysis of informatization of Murmansk region economy and estimating of legalization costs of typical software // Applied Information Technology Research Articles by Coopertive Science Network / University of Lapland, Department of Research Methodology Reports, Essay and Working Papers. Lapin yliopistopaino, Rovaniemi, 2007, pp. 60–66.

Рецензенты:

Ляхова Н.И., д.э.н., профессор, зав. кафедрой «Экономика и менеджмент» Старооскольского технологического института (филиал) им. А.А. Угарова, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Старый Оскол;

Самарина В.П., д.э.н., доцент, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» Старооскольского технологического института (филиал) им. А.А. Угарова, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Старый Оскол.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 338.312

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОБНОВЛЕНИЯ ОСНОВНОГО КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ

Безухов Д.А., Халиков М.А.

ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва, e-mail: bezukhov_da@mail.ru

Рассматривается проблематика разработки и совершенствования экономико-математических моделей и численных алгоритмов формирования оптимальной стратегии реструктуризации производственной системы предприятия в условиях сохранения действующего производства. Обсуждается состав критериев и структура моделей. В работе приводится классификация моделей развития предприятия, основанная на различных стратегических направлениях развития бизнеса. В рамках этой классификации строится двухкритериальная дискретная задача, решение которой задает оптимальную стратегию. Предлагаются оригинальные алгоритмы поиска оптимальных решений двухкритериальных дискретных задач большой размерности. Эти алгоритмы поиска оптимальных решений основаны на локализации области оптимальных по Парето решений. Полученные алгоритмы позволяют найти оптимальное решение оптимизационной задачи на конкретном интервале планирования. Для нахождения решения на длительном интервале предлагается воспользоваться динамической процедурой Р. Беллмана.

Ключевые слова: модели развития предприятия, производственная мощность, производственно-технологический потенциал, производственные и технологические риски, двухкритериальная дискретная задача, оптимальное по Парето решение, задача динамического программирования Р. Беллмана

THE CHOICE OF AN OPTIMAL VARIANT OF THE ENTERPRISES FIXED CAPITALS RENOVATION WITH ALLOWANCE FOR RISKS OF THE PRODUCTION SPHEAR

Bezukhov D.A., Khalikov M.A.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: bezukhov_da@mail.ru

The problematics of exploitation and perfection of economic-mathematical models and calculation algorithms of forming an optimal strategy of the restructure of the production system of enterprise with allowance for the conservation of the working production is considered. The composition of criterions and the models structure are discussed. Classification of models of the enterprise's growth which are based on different strategic directions of the business growth is given. Original algorithms of searching of an optimal solution to two-criterion discrete problems of high dimension which based on the localization of Pareto's optimal solutions set with using of the Bellman's dynamic procedure are offered.

Keywords: model of enterprises development, productive capacity, manufacturing capabilities, industrial and technological risks, two-criterion discrete problem, Pareto's optimal solution, Bellman's dynamic programming problem

Приоритетом предприятия, функционирующего в рыночной среде, является стремление к росту целевых показателей деятельности. Эта аксиома отражена в известных «моделях развития», в которых заложен принцип динамического соответствия рыночной деятельности предприятия с внешней средой, в границах которой происходит обмен материальными, финансовыми и информационными потоками. Конкретная модель описывает возможные направления и динамику основных сфер этой деятельности (производственной, инвестиционной и финансовой) относительно выбранной миссии и сформулированных целей [2, 3, 4, 5]. В рамках такого подхода необходима трансформация или даже смена модели развития в случае нарушения равновесного состояния в паре «предприятие – внешняя среда».

Приведем классификацию моделей развития в соответствии с работой [4] (таблица).

Первая группа моделей связана с ростом масштаба производства (основная производственная деятельность). Стратегическая направленность этих моделей связана с укреплением конкурентных позиций предприятия на товарных рынках. Варьируемыми показателями являются номенклатурный и объемный составы производственной программы.

Вторая группа моделей ориентирована на рост бизнеса за счет расширения видов деятельности, напрямую не связанных с миссией предприятия. Стратегическая направленность моделей этой группы связана с обеспечением экономической безопасности и мобильности предприятия на основе синергетического эффекта и снижения производственного риска. Варьируемым показателем является уровень диверсификации основного производства.

Модели экономического развития предприятия

	I группа		II группа
Стратегическая направленность	Повышение конкурентоспособности предприятия		Повышение экономической безопасности предприятия
Факторы роста	Экстенсивные	Интенсивные	Экстенсивные + Интенсивные
Основные эффекты	Масштаб производства	Масштаб производства и рыночная эффективность	Синергетический эффект + снижение производственного риска
Целевая направленность и критерии	Рыночная эффективность, длительность цикла «производство + реализация»	Совокупные издержки, уникальность продукции, престиж на рынке	Уровень диверсификации производственно-коммерческой деятельности

Рассмотрим проблематику разработки моделей первой группы, связанных с планированием развития предприятия в условиях отказа от коренной реконструкции и остановки основного производства. Пусть производственная система (ПС) предприятия включает n отдельных производственных комплексов (ПК). Технологическая взаимосвязь комплексов состоит в том, что общая производственная мощность предприятия определяется мощностью самого «слабого звена», т.е. соответствует минимальной мощности входящих в технологическую цепочку комплексов. Категория «мощность» соответствует выходу ПС и увязана с результатами основной производственной деятельности [1]. В экстенсивных моделях фактором роста является масштаб производства, определяемый с производственно-технологическим потенциалом (ПТП) как всего предприятия, так и входящих в него отдельных ПК.

Производственная устойчивость предприятия оценивается накопленным потенциалом устойчивого развития и в первой группе моделей может быть описана величиной производственного риска. Взаимосвязанный с ростом производственно-технологического потенциала рост масштаба производства приводит к снижению производственного риска как всего предприятия, так и отдельных ПК, входящих в его структуру.

Необходимо сделать следующее замечание. Наряду с производственным риском, интерпретируемым как риск потери производственной устойчивости в результате снижения объемов производства и реализации продукции[1], в модели экономического развития целесообразно также рассматривать и технологический риск, связанный с нарушением технологического и производственного циклов по причинам выхода из строя или сбоев в работе основного технологического оборудования (ОТО). Этот вид рисков может быть оценен как вероятность отказов или сбоев в работе ОТО в течение полного производственного цикла или, напротив, времени функционирования i-го ПК.

Рассмотрим временной аспект реализации рыночной стратегии предприятия. Пусть в начальный момент времени i-й ПК $(i=1,n)$ обладает $W_i^{(0)}$-м уровнем ПТП, который обеспечивает $R_i^{(0)}$-й уровень технологического риска для i-го ПК. Повышение ПТП i-го ПК до уровня $W_i^{(0)}+\Delta\omega_i^{(0)}$ обеспечивает снижение технологического риска до величины $R_i^{(0)}-\Delta R_i^{(0)}$.

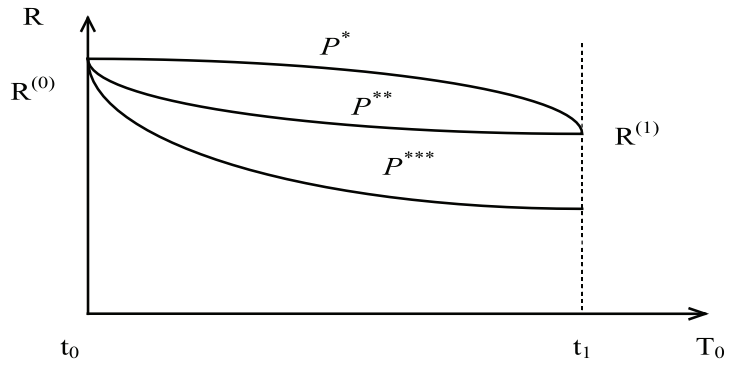
При построении планов увеличения ПТП отдельных ПК необходимо выбрать уровни организационно-технических мероприятий по реструктуризации и модернизации ПС этих комплексов и сроки их проведения. В качестве критериев можно рассматривать следующие [4]:

а) величина технологического риска всей ПС, обеспечиваемая в процессе реализации соответствующего плана, которая, таким образом, характеризует существующий уровень этого риска для всех входящих в производственную систему ПК;

[1] Приведенное более широкое толкование производственного риска позволяет конкретизировать причины возникновения данного вида риска, последствиями которого является снижение объемов производства и реализации продукции. К ним следует отнести: снижение производительности труда, простои оборудования, потери рабочего времени, отсутствие необходимого количества исходных материалов, повышенный процент брака; снижение цен, по которым планировалось реализовывать продукцию или услугу, в связи с ее недостаточным качеством, неблагоприятным изменением рыночной конъюнктуры, падением спроса; увеличение материальных затрат в результате перерасхода материалов, сырья, топлива, энергии, а также за счет увеличения транспортных и торговых издержек, накладных и побочных расходов; рост фонда оплаты труда за счет превышения численности либо за счет выплат более высокого, чем запланировано, уровня заработной платы отдельным сотрудникам; увеличение налоговых платежей и других отчислений в результате изменения ставки налогов в неблагоприятную сторону; низкую дисциплину поставок, перебои с топливом и электроэнергией; физический и моральный износ оборудования.

б) масштаб производства и накопленный ПТП, характеризующие темп снижения показателей производственного и технологического рисков за период реализации плана.

На рисунке показана взаимосвязь этих показателей для конкретных траекторий, характеризующих различные рыночные стратегии наращивания ПТП предприятия.



Траектории, характеризующие планы повышения ПТП предприятия

На рисунке приведены начальные и конечные значения показателя технологического риска для трех планов увеличения ПТП некоторого ПК. План P^{**} предпочтительнее плана P^* т.к., обеспечивая равный с P^* конечный риск, позволяет увеличить объем производства для всей ПС (площадь под кривой P^* больше площади под кривой P^{**}, а следовательно, первый план обеспечивает меньшее время бессбойной работы всей ПС, чем второй). План P^{***}, в свою очередь, предпочтительнее плана P^{**}, т.к. имеет лучшие характеристики по обоим показателям.

В систему ограничений моделей экономического развития следует включить объемы ресурсного обеспечения M, выделяемые на развитие ПС предприятия и дифференцированные по отдельным периодам (годам).

Содержательную постановку задачи оптимизации можно сформулировать следующим образом: необходимо сформировать план увеличения ПТП отдельных производственных комплексов ПС, обеспечивающий при выделенных объемах ресурсного обеспечения достижение минимально возможных показателей технологического риска в конце периода планирования и максимально быстрое наращивание объемов производства в течение этого периода: $R(t_k) \to \min$; $V(t_k) \to \max$ при $m \le M$, где t_k – последний интервал планирования.

Рассмотрим формальную постановку задачи. Пусть i $(i = \overline{1,n})$ – номер ПК; $\lambda_i(t)$ – прогнозируемая величина времени функционирования i-го ПК в интервале t; $\omega_i^{(0)}$ – начальный объем производства i-го ПК.

«Прирост» показателя уровня технологического риска R_i, обусловленный приростом производственно-технологического потенциала $\Delta\omega_i$ i-го ПК, задается соотношением

$$R_i^{(t)}(\Delta\omega_i) = f_R\left(\omega_i^{(t)} + \Delta\omega_i, \lambda_i(t)\right). \qquad (1)$$

За период t на i-м ПК обеспечивается увеличение потенциала производственной системы:

$$V(\Delta\omega_i) = f_V\left(R_i^{(t)}(\Delta\omega_i)\right). \qquad (2)$$

Управляемое изменение показателей R_i и V_i i-го ПК требует соответствующих затрат ресурсного обеспечения. Обозначим эти затраты $m_i^{(t)}(\Delta\omega_i)$ (затраты на закупку, установку и эксплуатацию основного и вспомогательного технологического оборудования).

В качестве интегральной характеристики технологического риска примем уровень надежности ПС:

$$R^{(t)}\left(\Delta\overline{\omega}^{(t)}\right) = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i^{(t)} \cdot R_i^{(t)}(\Delta\omega_i), \qquad (3)$$

где $\gamma_i^{(t)} = \dfrac{\lambda_i(t)}{\max\limits_{j=\overline{1,n}} \lambda_j(t)}$ – доля времени функционирования i-го ПК в общем времени функционирования ПС в периоде t.

Аналогично совокупный объем производства для ПС может быть рассчитан по формуле

$$V^{(t)}\left(\Delta\overline{\omega}^{(t)}\right) = \min_i \left\{V_i^{(t)}(\Delta\omega_i)\right\}. \qquad (4)$$

Затраты на наращивание ПТП производственной системы в периоде t суммируются по отдельным ПК:

$$m^{(t)} = \sum_{i=1}^{n} m_i^{(t)}\left(\Delta\omega(t_i)\right). \qquad (5)$$

План развития ПС заключается в определении вектора $\Delta\overline{\omega}^{(t)}$. Вектор $\Delta\overline{\omega}^{(t)}$ назовем допустимым, если $m^{(t)} \le M_t$, где M_t – объем ресурсного обеспечения, выделяемый на развитие ПС в периоде t.

Рассмотрим функцию управления:

$$F_T = F_{\omega^{(0)}}\left(\omega^{(1)},...,\omega^{(T)}\right), \qquad (6)$$

где T – количество интервалов планирования; $\overline{\omega}^{(0)}$ – начальный уровень надежности ПС; $\overline{\omega}^{(t)}$ – допустимый план в t-м интервале планирования $\left(t=\overline{1,T}\right)$.

Сформулируем задачу выбора оптимального управления. Необходимо построить функцию F_T управления развитием ПС на отрезке [1, T], обеспечивающую минимум технологического риска ПС и максимум результата производственной деятельности: $\min\limits_F \sum\limits_{t=1}^{T} R^{(t)}\left(\Delta\overline{\omega}^{(t)}\right)$ и $\max\limits_F V^{(t)}\left(\Delta\overline{\omega}^{(t)}\right)$, где min и max берутся по всем возможным управлениям с допустимыми по ресурсному обеспечению планами:

$$R_0 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} \gamma_i \cdot R_i^{(t)}\left(\Delta\omega_i\right)_t \to \min; \qquad (7)$$

$$V_0 = \sum_{t=1}^{T} V^{(t)}\left(\Delta\overline{\omega}^{(t)}\right) \to \max; \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n} m_i^{(t)}\left(\Delta\omega^{(t)}\right) \le M_t. \qquad (9)$$

Задача (7)–(9) – двукритериальная оптимизационная задача. Как следует из содержательной постановки задачи, критерии являются равноценными. Однако приведенная на рисунке иллюстрация показывает, что лучшим управлением, обеспечивающим заданный уровень технологического риска, является то, у которого траектория выше, что характеризует уже масштаб производства. В силу соотношений (1) и (2) функционал модели нелинеен. Задача линейна лишь по ограничению по затратам и относится к классу задач дискретной оптимизации большой размерности. Для перевода модели на уровень канонического представления задачи дискретной оптимизации необходимо фактор времени ввести в модель явно. Сделаем это в форме символа Кронекера:

$$\upsilon_i^{\tau} = \begin{cases} 0, & \text{при} \quad i \ne \tau; \\ 1, & \text{при} \quad i = \tau. \end{cases} \qquad (10)$$

Будем считать первой компонентой функции управления, относящейся к периоду планирования τ, вектор $I\left(V_i^{\tau}\right)$, компонентами которого, в свою очередь, являются номера производственных комплексов, по которым при данном управлении планируется увеличение ПТП.

Если $\upsilon_i^{\tau} = 0$, то значение показателя $R_i^{(\tau)}$ в (3) равно $R_i^{(\tau-1)}$ – технологический риск в периоде τ – 1. Иначе, $R_i^{(\tau)} = f_R\left(\omega_i^{(\tau)} + \Delta\omega_i, \lambda_i(\tau)\right)$ (соотношение (1)). Аналогично, если $\upsilon_i^{\tau} = 0$, то значение $V_i^{(\tau)}$ в (4) равно $V_i^{(\tau-1)}$ – объем производства в периоде τ – 1, а иначе, $V_i^{(\tau)} = f_U\left(R_i^{(\tau)}\right)$ (соотношение (2)).

Дальнейшая дискретизация задачи связана с моделированием динамики, задаваемой соотношениями (1) и (2).

Будем считать, что

$$V_i^{\tau} = \frac{1}{R_i^{(\tau)}} \cdot \lambda_i(\tau) \cdot \rho_i, \qquad (11)$$

где $\lambda_i(\tau)$ – ожидаемое время загрузки i-го ПК в периоде τ;

$$R_i^{(\tau)} = R_{\omega_i}\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(\tau)\right), \qquad (12)$$

где R_{ω_i} – прямоугольная матрица величин снижения технологического риска с достигнутого уровня ω_i; $\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(\tau)\right)$ – элемент матрицы показателей объема производства, соответствующего $\Delta\omega_i$, и времени загрузки i-го ПК, соответствующего $\lambda_i(\tau)$; ρ_i – коэффициент пересчета нормо-часов загрузки i-го ПК в производственную мощность ПК.

С учетом соотношений (10)–(12) задачу оптимального управления реструктуризацией ПС предприятия запишем в виде

$$R_0 = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} \gamma_i^{(t)} \cdot R_{\omega_i}\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(t)\right) \cdot I\left(V_i^t\right) \to \min; \qquad (13)$$

$$V_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} \frac{\lambda_i(t) \cdot I\left(V_i^t\right)}{R_{\omega_i}\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(t)\right)} \to \max; \qquad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{n} m_i^{(t)}\left(\Delta\omega_i^{(t)}\right) \cdot I\left(V_i^{(t)}\right) \le M. \qquad (15)$$

В функционалах (13) и (14) поменяем местами суммирование:

$$R_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} \gamma_i^{(t)} \cdot R_{\omega_i}\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(t)\right) \cdot I\left(V_i^t\right); \qquad (13')$$

$$V_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{T} \frac{\lambda_i(t) \cdot I\left(V_i^t\right)}{R_{\omega_i}\left(\Delta\omega_i; \lambda_i(t)\right)}. \qquad (14')$$

Эти формальные действия позволяют трансформировать полученную задачу дискретного программирования в задачу с булевыми переменными переборного типа.

Действительно, рассмотрим план увеличения ПТП i-го ПК во времени:

$$W_{i,j} = \left(W_{i,j}^{(1)}, W_{i,j}^{(2)}, ..., W_{i,j}^{(T)}\right), \qquad (16)$$

где j – номер плана переоснащения i-го ПК.

Каждому плану $W_{i,j}$ на промежутке [1, T] соответствует конкретное значение $R_{i,j}^{(\tau)}$ технологического риска. Функцию управления F зададим в виде булевой функции, поставив в соответствие каждому альтернативному варианту управления $W_{i,j}$ булеву переменную $P_{i,j} = \{0;\ 1\}$. При $P_{i,j} = 1$ из множества всех возможных вариантов управления (16) выбирается именно это управление. Условие выбора только одного варианта управления $W_{i,j}$:

$$\sum_j P_{i,j} = 1. \qquad (17)$$

Таким образом, дискретную модификацию оптимизационной задачи (7)–(9) можно сформулировать следующим образом. Найти значения булевых переменных $P_{i,j}$, обеспечивающих экстремумы функционалам R_0 и V_0:

$$R_0 = \min_{\{W_{i,j}\}} \sum_j \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{T} R_{i,j}^{(t)} \cdot \gamma_i^{(t)} \right) \cdot P_{i,j}; \qquad (18)$$

$$V_0 = \max_{\{W_{i,j}\}} \sum_j \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{T} \frac{\lambda_i(t)}{R_{i,j}^{(t)}} \right) \cdot P_{i,j}; \qquad (19)$$

$$\sum_j \sum_{i=1}^{n} m_{i,j}^{(t)} P_{i,j} \le M \qquad (20)$$

при дополнительном условии (17).

Задача (17)–(20) – задача дискретного программирования в булевых переменных. Ее можно классифицировать как многомерную задачу о ранце с критериями (18) и (19).

Решение задачи (17)–(20) может быть получено с использованием метода определения эффективных по Парето планов. Введем понятие оптимального по Парето решения. Обозначим множество допустимых управлений F^g. Эффективным по Парето называется такое управление $F^* \in F^g$, что для любого $F \in F^g$ неравенства $V(F) \ge V_0(F^*)$, $R_0(F) \le R_0(F^*)$ могут одновременно выполняться только в случае, если $V(F) = V_0(F^*)$ и $R_0(F) = R_0(F^*)$. Множество управлений F^* называют множеством Парето, а управление F^* – вектором Парето.

В теории принятия решений за основу взят принцип: в качестве возможных решений следует выбирать те, которые принадлежат множеству Парето. При этом не выделяется единственное решение экстремальной задачи, но множество альтернативных решений сужается до множества, содержащего только неулучшаемые эффективные решения. Окончательный выбор при этом остается за лицом, принимающим решения (ЛПР). Определение множества Парето существенно облегчает процедуру выбора.

Рассмотрим метод определения решений, оптимальных по Парето, который основан на утверждении, что для двукритериальной линейной задачи решения, оптимальные по Парето, являются единственными (с точностью до равенства на них R_0 и V_0) решениями однокритериальных задач (18), (20), (17) или (19), (20), (17), если в последние добавить ограничения

$$V(F) \ge V^*,$$

где
$$V = \max_{F \in F^g} V(F) \qquad (21)$$

или

$$R(F) \le R^*,$$

где
$$R^* = \min_{F \in F^g} R(F). \qquad (22)$$

Решения, оптимальные по Парето, определяются по следующему алгоритму:

а) находится оптимальное решение задачи (18), (20), (17) и определяются $R_1^* = R\left(F_1^*\right)$ и $V_1^* = V\left(F_1^*\right)$, где F_1^* – соответствующее оптимальное управление;

б) находится решение задачи (19), (20), (17) и определяется $V_2^* = V\left(F_2^*\right)$, где F_2^* – соответствующее оптимальное управление;

в) формируется интервал $\left[V_1^*;\ V_2^*\right]$;

г) решается семейство задач (18), (20), (17) с дополнительными ограничениями $V(F) \ge \beta$ для различных β из интервала $\left[V_1^*;\ V_2^*\right]$. Из полученных решений выбираются неулучшаемые вектора, которые и составляют управления, оптимальные по Парето.

Предлагается следующий алгоритм поиска неулучшаемого управления в задаче с критерием на минимум суммарного технологического риска элементов ПС. На следующем этапе схема данного алгоритма может быть использована в процедуре второго шага алгоритма определения управлений, оптимальных по Парето.

Итак, рассмотрим задачу (18), (20), (17):

$$R_0 = \min_{\{w_{i,j}\}} \sum_j \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{t=1}^{T} R_{i,j}^{(t)} \cdot \gamma_i^{(t)} \right) \cdot R_{i,j};$$

$$\sum_j \sum_{i=1}^{n} m_{i,j}^{(t)} \cdot P_{i,j} \le M; \quad \sum_j P_{i,j} = 1,$$

где $\left\{w_{i,j}\right\}$ – множество допустимых планов увеличения ПТП i-го ПК.

Алгоритм поиска квазиоптимального решения рассматриваемой задачи использует ее «рюкзачную» специфику и основан на динамической процедуре «сворачивания» наилучшего плана, не являющегося допустимым, до «уровня» допустимого.

Пусть $\overline{W}^{(t-1)}$ – план увеличения ПТП комплексов ПС, использованный в интервале планирования $(t-1)$.

Определение 1. Глубиной плана $\overline{W}^{(t-1)}$ по i-й компоненте плана назовем величину $N_i^{(t-1)}$ – количество различных планов увеличения ПТП i-го ПК с достигнутого уровня $\omega_i^{(t-1)}$.

Определение 2. Весом плана $\overline{W}^{(t)}$ по i-й компоненте назовем величину $R_{i,j}^{(t)} \cdot \gamma_i^{(t)}$.

Определение 3. Весом плана $\overline{W}^{(t)}$ назовем наибольший по всем n компонентам вес.

Пусть

$$m_t = \max_{i=\overline{1,n}} R_{i,j}^{(t)} \cdot \gamma_i^{(t)}. \qquad (23)$$

Приведем алгоритм поиска квазиоптимального решения задачи (18), (20), (17).

1. Рассмотрим план повышения надежности функционирования элементов ПС, при котором по каждому ПК достигается наименьший уровень показателя технологического риска. В этом случае уровень надежности i-го ПК $\omega_{N_i^{(t-1)}}^{(t-1)}$. (Считаем, что планы перенумерованы в последовательности увеличения объема производства). Ясно, что функционал (18) принимает наименьшее возможное значение (что соответствует наименьшему возможному значению веса).

Проверим выполнение условия (21). Если условие выполняется, то получено оптимальное решение задачи для интервала t. Это решение совпадает с вектором $\overline{W}_1^{(t)} = \left(\omega_{N_1^{(t-1)}}^{(t-1)}, ..., \omega_{N_n^{(t-1)}}^{(t-1)}\right)$. Иначе переходим к шагу 2.

2. В плане $\overline{W}_1^{(t)}$ отметим те комплексы, вес которых соответствует весу плана $\overline{W}_1^{(t)}$, а среди этих комплексов, в свою очередь, выделим те, глубина которых максимальна. Для этих комплексов рассмотрим последовательно планы, в которых глубина сокращается на единицу, затем на две единицы и т.д. до тех пор, пока вновь полученный план не станет допустимым (удовлетворяющим условию (20)). В этом случае полученный план будет квазиоптимальным решением задачи (18), (20), (17).

Если все рассматриваемые планы остаются в области недопустимых, то в плане $\overline{W}_1^{(t)}$ обязательно найдется такая компонента с некоторым номером j_0, которая не была включена в первоначальный список.

Обозначим промежуточный план $\overline{W}_2^{(t)}$.

Повторим итеративную процедуру п. 2, поменяв план $\overline{W}_1^{(t)}$ на план $\overline{W}_2^{(t)}$.

В силу конечности множества допустимых планов приведенный алгоритм является сходящимся.

Рассмотренный алгоритм позволяет находить квазиоптимальное решение оптимизационной задачи на конкретном интервале планирования. Однако он не решает общей задачи оптимизации планов увеличения ПТП производственной системы на длительном промежутке времени. Для этой цели может быть использована динамическая процедура Р. Беллмана. Обозначим оптимальные по критериям R и V планы соответственно F_R^* и F_V^*. Разобьем период планирования на l годовых отрезков и соответственно план F на l векторов таких, что $F_i = \sum_{t=1}^{l} \overline{W}_i^{(t)}$, где каждый вектор $\overline{W}_i^{(t)}$ представляет собой годовой план на отрезке $(t-1, t)$.

В соответствии с динамической процедурой Р. Беллмана будем решать l порожденных задач, генерируя ограничения t-й задачи по результатам решения $(t-1)$-й. В этом случае может быть получено единственное оптимальное решение всей задачи по двум критериям R и V.

Однако принцип Беллмана справедлив, если в каждой точке траектории множество $W_{i,j}^{(t)}$ допустимых управлений одинаково. По мере решения порожденных задач и выбора соответствующих управлений на предыдущих шагах, это множество сокращается. Действительно, если в выражении (17) $P_{i,j}$ для некоторого периода t равно 1, то данное мероприятие плана уже фиксировано. Чтобы снять это возражение, необходимо рассматривать решение порожденных задач в обратном порядке, т.е. от конечной точки плана l к начальной 1. В этом случае первой решается задача с ограничением $\sum_{i=1}^{n} m_i^{(l)}\left(\Delta\omega_i^{(l)}\right) \cdot I\left(V_i^{(l)}\right) \le M$ и при этом определяется оптимальное конечное состояние системы $\overline{W}_i^{*(l)}$, а затем генерируются и решаются задачи определения управлений по критерию $\max_{\{W_{ij}^{(l-1)}\}}\left(V_{l-1}^* \; V_l^*\right)$, при ограничениях на $m_i^{(l-1)}$, соответствующих интервалу планирования l–1, что позволяет найти оптимальное для периода l–1 решение.

С учетом изложенного алгоритм решения динамической задачи (17)–(20) может быть представлен следующим образом.

Пусть i-й ПК в начальный момент периода планирования обладает $\omega_i^{(0)}$-м масштабом производства. Из анализа ресурсных характеристик оборудования, эксплуатируемого на комплексе, устанавливаются плановые сроки его замены. Для времени замены можно сформулировать несколько вариантов наращивания объема производства. Пусть c_i^1 предусматривает сохранение начального уровня, т.е. замену оборудования, отработавшего ресурс, оборудованием этого же типа. Вариант c_i^2 – наращивание объема производства до $\omega_i^{(1)}$ и т.д. Последний вариант c_i^k предусматривает вывод объема производства i-го ПК на нормативный уровень $\omega_i^{(1)}$.

С учетом располагаемого ресурса технологического оборудования определяется следующий плановый срок его замены и в новой временной точке для каждого варианта c_i^t формируется в соответствующих пределах вариант переоснащения и т.д. (до конца l-го интервала планирования).

Если объем производства, обеспечиваемый i-м ПК, предельно низок, то дооснащение может быть проведено в любой точке периода планирования, независимо от остаточного ресурса финансового обеспечения.

В результате для каждого ПК формируется множество альтернативных планов:

$$c_i = \{c_i^1;...;c_i^r;...;c_i^l\}.$$

На множестве c_i существует несколько альтернативных планов, предусматривающих один и тот же конечный объем производства для i-го ПК, но различные уровни увеличения ПТП в течение всего периода планирования. Эти планы обеспечивают одинаковую конечную эффективность функционирования ПС, но различную эффективность по периодам планирования.

Рассмотрим процесс реализации плана c_i. На отрезке времени $(0, t_1)$ i-й ПК обеспечивает объем производства $\omega_i^{(0)}$ и соответствующие показатели эффективности $R_i^{(0)}$ и $V_i^{(0)}$. В момент t_1 происходит наращивание уровня ПТП-го комплекса, что обусловливает уменьшение технологического риска на $\Delta R_i^{(1)} = R_i^{(0)} - R_i^{(1)}$. До момента времени t_2 этот прирост обусловит соответствующий вклад в критерий V:

$$\Delta V_i^{(1)} = \sum_{\Delta t = t_1 - t_0} \lambda_i^{-p}(\Delta t) \cdot \frac{1}{\Delta R_i^{-p}(\Delta t)}. \quad (24)$$

Естественно, что на отрезке $[t_1, t_2]$ можно рассматривать линейную экстраполяцию функций λ_i и R_i, определяя средние значения $\lambda_i^{\text{ср}}$ и $\Delta R_i^{\text{ср}}$.

Далее, в момент времени t_2 происходит очередное наращивание ПТП, что обусловливает соответствующее уменьшение технологического риска $\Delta R_i^{(2)} = R_i^{(1)} - R_i^{(2)}$ на отрезке времени $t_2 - t_1$.

Для каждого плана c_i можно определить соответствующие значения $V_i^{(r)}$ как

$$\Delta V_i^{(r)} = \sum_{\Delta t = 1}^{r} \Delta V_i^{(\Delta t)}.$$

В то же время для плана c_i можно определить вклад в критерий R:

$$R_i^{(r)} = \gamma_i^{(r)} \cdot f_R\left(\omega_i^{(r)}, \lambda_i(r)\right)$$

Тогда каждый альтернативный план характеризуется оценками $V_i^{(r)}$ и $R_i^{(r)}$. Запишем оценки, соответствующие плану $\overline{c}_i$, в виде

$$\overline{V}_i = \left\{V_i^{(1)}, V_i^{(2)}, ..., V_i^{(l)}\right\};$$

$$\overline{R}_i = \left\{R_i^{(1)}, R_i^{(2)}, ..., R_i^{(l)}\right\}.$$

План c_i характеризуется потребными для его реализации затратами $\overline{m}_i$. Учитывая, что ограничения на развитие ПТП производственной системы задаются на интервалах $r = \overline{1,l}$ периода планирования, сформируем соответствующие векторы затрат на реализацию альтернативных планов:

$$\overline{m}_i = \left\{m_i^{(1)}, m_i^{(2)}, ..., m_i^{(l)}\right\}.$$

С учетом изложенного процедура нахождения планов, оптимальных по Парето, выглядит следующим образом.

Определяется план c_i, имеющий при назначенных ограничениях на вектор затрат m_i большую эффективность по критерию R:

$$\min_{\{c_i\}} R_i^{(l)} = R_i^*.$$

Среди планов, имеющих такую же конечную эффективность, выбирается план, обеспечивающий больший объем производства. Исходя из полученного плана, строится план для интервала планирования (t_{l-1}, t_l), у которого в качестве критерия рассматривается показатель R, а новым ограничением выступает $V_i^{t_l} \geq V_i^*$, где V_i^* – объем производства, полученный на предыдущем шаге.

Вычисляется новое значение $R_i^{k-1} = R_i^{**}$. Среди планов, имеющих такую же эффективность на предпоследнем интервале планирования, выбирается план, обеспечивающий наибольший показатель $V_i^{t-1} = V^{**}$

объема производства, и далее процедура продолжается к первому интервалу планирования.

Список литературы

1. Антиколь А.М., Халиков М.А. Нелинейные модели микроэкономики: учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2011. – 156 с.

2. Безухов Д.А., Халиков М.А. Математические модели и практические расчеты оптимальной структуры производственного капитала предприятия с неоклассической функцией // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11(1) – С. 114–123.

3. Булышева Т.С., Милорадов М.А., Халиков М.А. Моделирование рыночной стратегии предприятия. – М.: Экзамен, 2009. – 286 с.

4. Халиков М.А. Моделирование производственной и инвестиционной стратегий машиностроительного предприятия. – М.: Изд-во «Благовест-В», 2003.

5. Халиков М.А., Расулов Р.М. Факторы динамики «затраты-выпуск»: проблематика оценки и учёта в моделях предприятия // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. – 2013. – № 4 – С. 70–80.

References

1. Antikol' A.M., Khalikov M.A. Nelinejnye modeli mikrojekonomiki : uchebnoe posobie [Nonlinear microeconomics models: tutorial], Moscow Plekhanov Russian University of Economics, 2011.

2. Bezukhov D.A., Khalikov M.A. Matematicheskie modeli i prakticheskie raschety optimal'noj struktury proizvodstvennogo kapitala predprijatija s neoklassicheskoj funkciej [Mathematical models and practical calculations of optimal structure of enterprise's industrial capital with neoclassical production function]. Fundamental'nye issledovanija [Fundamental researches], 2014, no. 11(1), pp. 114–123.

3. Bulysheva T.S., Miloradov M.A., Khalikov M.A. Modelirovanie rynochnoj strategii predprijatija [Models of the market strategy of the company], Moscow, Examine, 2009.

4. Khalikov M.A. Modelirovanie proizvodstvennoj i investicionnoj strategij mashinostroitel'nogo predprijatija : monografiya [Industrial and investment strategy modeling of the engineering enetrptise: monograph.], Moscow, Blagovest-V, 2003.

5. Khalikov M.A., Rasulov R.M. Faktory dinamiki «zatraty-vypusk»: problematika ocenki i uchjota v modeljah predprijatija [Factors to the dynamic of "inputs- issue": problems of estimates and calculation in the models of an enterprise.] Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2013, no. 4, pp. 70–80.

Рецензенты:

Тихомиров Н.П., д.э.н., заведующий кафедрой «Математические методы в экономике», РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва;

Титов В.А., д.э.н., профессор кафедры информационных технологий, РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 338.45.01

ВЛИЯНИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА ПРИЧИНЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ «РЕГИОНАЛЬНОГО МОНОПОЛИЗМА» В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ СТРАНЫ

Бращин Р.М., Чистяков Е.Г.

ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва, e-mail: brashchin@yandex.ru

Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью повышения конкурентоспособности региональной экономики на основе совершенствования государственного регулирования и оптимизации развития монополизма, особенностью которого является абсолютное преобладание в региональной экономике экономических субъектов, как правило, обладающих исключительным правом распоряжения ресурсами и результатами своей деятельности в сферах производства, распределения, поставок, потребления продукции и услуг. В процессе территориальной идентификации и оценки этого влияния необходимо выявлять и анализировать причины и тенденции развития «регионального монополизма», под которым следует понимать процесс создания организационно-правовых и финансово-экономических условий, расширяющих возможности местных органов власти и хозяйствующих субъектов в удовлетворении интересов и потребностей данного региона, формируемых предприятиями и организациями естественных монополий за счет сдерживания развития конкуренции в сферах производства, распределения, обмена и потребления жизненных благ на конкретной территории, обусловленное уникальными природными ресурсами и положением в экономическом пространстве.

Ключевые слова: региональный монополизм, естественная монополия, конкуренция, монопольный потенциал, монопольная власть, электроэнергетика, государственное регулирование

THE IMPACT OF COMPETITION ON THE CAUSES AND TRENDS «REGIONAL MONOPOLISM» IN THE NATIONAL ECONOMY

Braschin R.M., Chistyakov E.G.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: brashchin@yandex.ru

Relevance of the topic due to the need of Article enhance the competitiveness of the regional economy based on the improvement and optimization of state regulation of monopoly, which is a feature of the absolute predominance in the regional economy of economic entities, as a rule, has the exclusive right to dispose of resources and results of its activities in the areas of production, distribution, supply, consumer products and services. In the process of territorial identification and assessment of this impact is necessary to identify and analyze the causes and trends in the development of «regional monopolies», which should be understood as a process of creating organizational, legal and financial and economic conditions that empower local authorities and businesses to meet the interests and needs of the region formed by enterprises and organizations of natural monopolies by containing the development of competition in the areas of production, distribution, exchange and consumption of vital goods in a particular area due to unique natural resources and position in the economic space.

Keywords: regional monopoly, natural monopoly, competition, monopoly potential, monopoly power, power, government regulation

В настоящее время в экономической теории существует много разных определений монополизма, а дискуссии по содержанию этого понятия и практике его использования в системе управления, продолжаются. Это свидетельствует о недостаточной разработанности рассматриваемой формы экономических отношений в системе государственного управления. Объективной основой монополизма является доминирующее положение хозяйствующего субъекта на рынке, что позволяет ему оказывать решающее влияние на развитие конкуренции, завышать цену и снижать объем производства по сравнению с потенциально возможным уровнем, затруднять доступ на рынок другим хозяйствующим субъектам. По нашему мнению, монополия – это механизм удовлетворения собственных интересов хозяйствующих субъектов за счет ущемления текущих потребностей населения, а также снижения возможностей удовлетворения спроса будущих потребителей товаров и услуг. В системе государственного управления механизмы идентификации, учета и контроля монополистических экономических отношений, как правило, не достаточно совершенны, в связи с чем монополизм является широко распространенным явлением на всех уровнях управления, по своим последствиям оказывает на экономику и уровень жизни населения более сильное негативное влияние по сравнению с положительными последствиями, обусловленными конкуренцией. Позиции государства, связанные с созданием условий

для развития конкуренции экономической теорией и практикой управления, только декларируются, но разработке и созданию необходимых условий для этого органам управления обычно не уделяется должного внимания. Конкуренция, как правило, связана с новациями, с борьбой, с традициями противостояния нововведениям, носит преимущественно пассивный характер, в то время как осуществление монопольной политики органически связано с интересами хозяйствующих субъектов, менее подконтрольно общественности, органам власти и населению. В то же время анализ показывает, что механизмы антимонопольного законодательства, установленного во многих странах мира, включая Россию, как правило, носят запретительный характер, устанавливая в основном нормативно-законодательные требования к ограничению объемов производства соответствующих видов товаров и услуг, не осуществляя при этом должного контроля за выполнением этих требований, а также не регламентируя законодательными актами выполнение других функций реализации антимонопольной политики. В конечном итоге это дает возможность монополисту устанавливать варианты первоочередного удовлетворения выгодных для него потребностей за счет выбора наиболее эффективных путей перераспределения платежеспособного спроса, с целью получения монопольно высокой прибыли. Особо большое влияние на отечественную экономику и уровень жизни населения оказывают естественные монополии. Уровень рентабельности отраслей естественных монополий примерно в полтора раза выше, чем в среднем по национальной экономике, значительно превышает в этих отраслях также и доля ВДС в общих объемах выпускаемого продукта. По оценке авторов, крупнейшие естественные монополии России (нефтедобыча, газовая промышленность, электроэнергетика и РЖД) за счет налоговых поступлений и экспорта обеспечивают значительную часть бюджетных доходов. Анализ показывает, что позиции естественных монополий на протяжении последних двух десятилетий в отечественной экономике продолжают усиливаться, что свидетельствует о недостаточной эффективности действующих механизмов антимонопольного регулирования на всех уровнях управления. Первоочередного внимания в этой связи заслуживает механизм организации учета и контроля производства и потребления продукции и услуг естественных монополий.

Монополизм как процесс усиления присутствия монопольной структуры на рынке соответствующей продукции, ограничения конкурентной среды, возможностей приобретения и использования потребляемого сырья другими производителями монополизированных изделий является тормозом социального и экономического прогресса. По самому своему существу и содержанию на данном этапе он характеризуется весьма разнообразными, а порой непредсказуемыми методами и формами распространения. Поэтому с точки зрения совершенствования управления социально-экономическим развитием страны и регионов необходимо привести в соответствие с требованиями времени содержание понятий и уточнить формы и виды монополистических процессов. Изучая опубликованные в экономической литературе определения рассматриваемых понятий, характеризующих естественную монополию, можно сделать вывод о том, что они, как правило, не достаточно полно раскрывают их содержание. Так, например, Энциклопедический словарь экономики и права следующим образом определяет естественную монополию (natural monopoly.) Это – официально признанная неизбежная монополия на производство и продажу товаров и услуг, применительно к которым монополизм обусловлен либо естественными правами монополиста, либо соображениями экономической выгоды для всего государства и населения. Исходя из этого определения авторами статьи сформирован вывод о том, что понятие естественной монополии необходимо рассматривать и увязывать прежде всего с пространственным аспектом экономического развития, с размещением производительных сил, с ресурсным потенциалом региона, с технологическими особенностями производства товаров и услуг, с содержанием понятия общественного блага, с административно-управленческой формой организации производства, с отсутствием условий для развития конкуренции, а также с интеллектуальным потенциалом монополистической структуры. К сожалению, в действующей практике государственного регулирования экономического развития страны и регионов перечисленные аспекты и признаки существования и функционирования естественных монополий в субъектах РФ учитываются недостаточно.

Анализ литературных источников, посвященных исследованию процессов и факторов монополизации общественного производства, показал, что в настоящее время экономической теорией пока еще не создана адекватная действующей практике управления система типологизации понятий, видов и форм монополий, функционирующих на федеральном, региональном и местном

уровнях. В частности, действующее отечественное антимонопольное законодательство дает слишком обобщенное поверхностное определение понятия «монополия», поскольку в реальности в экономической науке сложилось отнюдь не бесспорное утверждение о том, что чистых монополий в стране нет. В настоящее время в экономической литературе не раскрыто содержание монопольного потенциала, а идентичное ему понятие монопольной власти рассматривается в основном только с позиций эластичности спроса, тарифов и цен, что является важным, но отнюдь не единственным фактором, ограничивающим монопольную власть фирмы на рынке. Спрос на продукцию отдельной фирмы не может быть менее эластичным, чем рыночный спрос. Чем большее количество фирм представлено на рынке, тем более эластичен будет спрос на продукцию каждой из них.

Определенную неясность в оценку и анализ результатов деятельности естественных монополий вносят федеральные органы власти – Росстат, Минэнерго и Федеральная служба по тарифам (ФСТ), официальные данные которых об одних и тех же показателях нередко разнятся между собой и зачастую являются ошибочными. При этом не унифицирована терминология и используемые термины большей частью не поясняются, что тоже вносит большую путаницу. А в последние годы статистические показатели производства, передачи и распределения электроэнергии публикуются в сумме с этими же показателями для воды и газа как одно целое, что явно абсурдно, еще больше затрудняя анализ и контроль в сфере электроснабжения. По имеющимся оценкам годовые поборы за поставку электроэнергии превышают половину ее продажной стоимости (за 2012-й год это примерно свыше 1,5 трлн рублей). Под предлогом совершенствования этих механизмов на федеральном, региональных и местных уровнях управления продолжают создаваться и развиваться новые инструменты и модели, способствующие все более сильному проявлению авторитаризма в экономике, неравномерному развитию монополистических процессов и сравнительно высокой дифференциацией условий и последствий монополизма по территории страны. Поэтому в процессе территориальной идентификации и оценки этого влияния необходимо выявлять и анализировать причины и тенденции развития «регионального монополизма», под которым, по мнению авторов статьи, следует понимать процесс создания организационно-правовых и финансово-экономических условий, расширяющих возможности местных органов власти и хозяйствующих субъектов в удовлетворении интересов и потребностей данного региона, формируемых предприятиями и организациями естественных монополий за счет сдерживания развития конкуренции в сферах производства, распределения, обмена и потребления жизненных благ на конкретной территории, обусловленное уникальными природными ресурсами и положением в экономическом пространстве.

В экономической теории существует много разных определений монополизма, а дискуссии по содержанию этого понятия и практике его использования в производственно-хозяйственной деятельности на федеральном и региональных уровнях постоянно усиливаются. Это свидетельствует о недостаточной разработанности методов и механизмов регулирования рассматриваемой формы экономических отношений в системе государственного управления. Возникновение монополий происходит по нескольким причинам:

1) вследствие непосредственного регулирующего воздействия государства путем признания определенных сфер предпринимательства монополиями в целях защиты интересов государства и общества, в том числе в силу объективных экономических причин (государственные и естественные монополии);

2) вследствие самостоятельных действий субъектов предпринимательской деятельности, связанных:

а) с различными способами концентрации капиталов у одного или нескольких субъектов предпринимательства (реорганизация, приобретение акций (долей), соглашения и т.д.);

б) с использованием более эффективных форм организации и осуществления предпринимательской деятельности и в результате этого – победы в конкурентной борьбе;

в) с неразвитостью определенного рынка товаров (работ, услуг);

г) иными методами осуществления предпринимательской деятельности на основе конкуренции;

3) вследствие обладания исключительными правами на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации субъектов.

Таким образом, можно сказать, что возникновение монополии связано с различными тенденциями, процессами и явлениями, создающими условия и предпосылки для установления монопольной власти на национальном, региональном или же муниципальном уровнях. Причем важнейшим

элементом выступает конкуренция, так как именно она рождает заинтересованность хозяйствующих субъектов максимально эффективно использовать имеющиеся факторы производства с целью получения наибольшей прибыли. В настоящее время наиболее негативное влияние на экономику и социальное развитие страны и регионов оказывают естественные монополии.

Развитие естественных монополий на уровне отдельных регионов обусловливает рост цен на газ, электроэнергию, тепло, нефтепродукты, транспортно-коммуникационные и другие услуги, является детонатором всех инфляционных процессов, отражающихся в первую очередь на увеличении издержек производства и уровне жизни населения.

Выводы проведенного авторами исследования показывают, что стоимость электроэнергии на региональном рынке в ряде субъектов РФ уже сравнялась с европейской (5–8 центов за 1 кВт/ч) при средней зарплате в 30 раз меньшей, в сравнении с развитыми европейскими странами. Энергоемкость (совокупность потребления ТЭР) ВРП по нашим укрупненным оценкам в отечественной экономике более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель развитых стран при том, что уровень потребления кВт/ч на 1 человека в России в целом в 2 раза ниже относительно развитых стран. Существующий потенциал энергосбережения в ряде регионов страны составляет до 50 % текущего потребления энергии. Почти треть его сосредоточена в отраслях ТЭК, 35 % в промышленности и 25 % в ЖКХ. В отечественной экономике наряду с естественными монополиями широкое распространение получили региональные формы и виды монополизма. Объективными условиями этих форм монополизма являются, с одной стороны, редкость различных видов ресурсов, необходимых для производства различных товаров и услуг, ограниченный ареал их размещения в регионах страны, а с другой – низкий платежеспособный спрос населения и высокий уровень мотивации хозяйствующих субъектов на достижение максимума прибыли. По этим причинам, а также вследствие отсутствия должного контроля за монопольной деятельностью эти процессы в последние годы получили широкое развитие во всех субъектах федерации.

Список литературы

1. Бращин Р.М. Методы государственного регулирования естественных монополий // Вестник Российской экономической академии имени Г.В. Плеханова. – М., 2008. – № 6 – С. 59–64.

2. Бращин Р.М. Необходимость государственного вмешательства в процесс регулирования деятельности естественных монополий в региональной экономике России деятельности // Транспортное дело России. – М., 2012. – № 6 – С. 32–34.

3. Бращин Р.М. Типологизация видов монополизма и его влияние на региональную экономику России // Фундаментальные исследования. – М., 2014. – № 6, ч. 5 – С. 959–962.

4. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики // Дуглас Норт – М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. – 180 с.

5. Национальная экономика: учебник / под общ. ред. Р.М. Нуреева. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 655 с.

6. Основы национальной экономики: учебник / под общ. ред. М.П. Бурова, Е.Г. Чистякова. – М.: Экономика. 2013. – 424 с.

7. Титов В.А. Структурные преобразования в инновационных системах: методология исследования. – М.: Изд-во «Риалтекс», 2010. – 266 с.

References

1. Brashhin R.M. Metody gosudarstvennogo regulirovanija estestvennyh monopolij // Vestnik Rossijskoj jekonomicheskoj akademii imeni G.V. Plehanova. M., 2008. no. 6 pp. 59–64.

2. Brashhin R.M. Neobhodimost' gosudarstvennogo vmeshatel'stva v process regulirovanija dejatel'nosti estestvennyh monopolij v regional'noj jekonomike Rossii dejatel'nosti // Transportnoe delo Rossii. – M., 2012. – № 6 – S. 32–34.

3. Brashhin R.M. Tipologizacija vidov monopolizma i ego vlijanie na regional'nuju jekonomiku Rossii // Fundamental'nye issledovanija. M., 2014. no. 6, ch. 5 pp. 959–962.

4. Instituty, institucional'nye izmenenija i funkcionirovanie jekonomiki // Duglas Nort M.: Fond jekonomicheskoj knigi «Nachala», 1997. 180 p.

5. Nacional'naja jekonomika: uchebnik / pod obshh. red. R.M. Nureeva. – M.: INFRA-M, 2014. – 655 s.

6. Osnovy nacional'noj jekonomiki: uchebnik / pod obshh. red. M.P. Burova, E.G. Chistjakova. M.: Jekonomika. 2013. 424 p.

7. Titov V.A. Strukturnye preobrazovanija v innovacionnyh sistemah: metodologija issledovanija. M.: Izd-vo «Rialteks», 2010. 266 p.

Рецензенты:

Титов В.А., д.э.н., профессор кафедры «Информационные технологии», ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», г. Москва;

Тихомирова Е.И., д.э.н., профессор кафедры «Информационные системы в экономике и менеджменте», ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 378:519.866

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА

Ибыжанова А.Д., Таршилова Л.С.

РГП на ПХВ «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, e-mail: tarshilova@mail.ru

Ограниченные возможности регулирования процесса формирования структуры занятости специалистов обусловливают применение эконометрического моделирования в изучении процессов в области высшего профессионального образования. Анализ показывает, что отечественные предприятия в инновационной деятельности опираются на свои внутренние источники. Наблюдается разрыв между наукой и бизнесом. Эффективность инновационного развития организаций зависит от кооперации и партнерства в научно-технической сфере. Для расчета модели взаимосвязи между кооперацией и партнерством в научно-технической сфере и эффективностью деятельности университета использовались показатели: объем финансирования совместных научно-исследовательских проектов; количество совместных проектов; количество партнеров; численность преподавателей, занятых в совместных проектах. Рассчитанная модель показывает значимое положительное влияние научно-технического партнерства на эффективность деятельности университета.

Ключевые слова: моделирование, научно-техническое партнерство, университет

MODELING OF SCIENTIFIC-TECHNICAL PARTNERSHIP INFLUENCE ON THE RESULTS OF THE UNIVERSITY ACTIVITY

Ibyzhanova A.D., Tarshilova L.S.

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University, Uralsk, e-mail: tarshilova@mail.ru

Limited opportunities of structure formation process regulation of experts' employment causes application of econometric modeling in the study of processes in the field of higher education. The analysis shows that domestic enterprises lean on its internal sources in the innovative activity. The gap between science and business is observed. The efficiency of organizations innovative development depends on cooperation and partnership in scientific-technical sphere. As a research object for modeling was adopted West-Kazakhstan agrarian-technical University named Zhangir Khan. Use dynamic series of performance indicators of the University from 2003 to 2014 years. Indicators were used for the calculation of interrelation model between cooperation and partnership in scientific -technical sphere and the university activity efficiency: amount of joint research projects financing; number of joint projects; number of partners; number of teachers occupied in joint projects. Calculated model shows a significant positive influence of scientific-technical partnership on the university activity efficiency.

Keywords: modeling, scientific-technical partnership, university

Процессы реформирования и модернизации системы образования, вызванные развитием рыночных отношений, институциональными изменениями, переходом на международные образовательные стандарты, а также инновационное направление развития страны требуют разработки механизмов управления, адекватных задачам развития системы образования. Одним из таких механизмов, способных выявлять тенденции и закономерности изменения индикаторов развития образования по регионам и стране в целом, является эконометрическое моделирование. Массовый характер предоставляемых образовательных услуг на рынке, их количественная оценка на базе показателей региональной статистики, а также количественная оценка характера взаимодействия между ключевыми переменными обуславливают возможность моделирования рынка профессиональных образовательных услуг как многофакторного процесса. Необходимость регионального уровня исследования закономерностей «выхода» на целевые ориентиры инновационного развития страны и программы развития образования обусловлена региональной спецификой формирования факторов, условий, социальных последствий ее реализации [3].

Научное обоснование принимаемых управленческих решений, базирующееся на экономико-статистическом анализе ситуации, считается объективным, ибо основано на методологической базе статистического исследования и моделирования рынка профессиональных образовательных услуг как многофакторного процесса, для которого характерно использование системы показателей и отслеживание их изменений, а также количественная оценка влияния различных факторов на изменения значений показателей для выявления вызвавших их причин.

Цель исследования – разработка концепции моделирования деятельности высшего учебного заведения под влиянием

кооперации и партнерства в научно-технической сфере с использованием инструментария эконометрики.

Материал и методы исследования

Теоретической и методологической базой исследования явились труды зарубежных и отечественных экономистов по анализу и моделированию рынка образовательных услуг; работы и пособия по статистическому анализу временных рядов, кластерному и корреляционно-регрессионному анализу взаимодействия между факторами.

В работе также были использованы общенаучные методы сравнительного анализа, анализа и синтеза. Для получения расчетных значений ряда показателей применялись: метод фактического измерения значений показателей на основе имеющихся объективных данных, метод количественной оценки присвоения производных чисел, экономико-математический метод расчетных показателей на основе использования фактических данных, метод экспертных оценок.

Информационную базу исследования составили данные о результатах деятельности Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана за 2003–2014 годы.

Результаты исследования и их обсуждение

Эконометрическое моделирование как инструмент для органов государственной власти в области высшего образования и менеджмента вуза позволяет просматривать последствия той или иной стратегии его развития, способствует пониманию сути происходящих процессов в системе образования. Целесообразность применения эконометрического моделирования в изучении процессов в области профессионального образования обусловливается также ограниченными возможностями регулирования процесса формирования структуры занятости специалистов.

Выделим несколько основных этапов построения эконометрической модели:

1. Определение формы представления эконометрической модели.
2. Спецификация эконометрической модели.
3. Идентификация эконометрической модели, оценка ее параметров (2МНК) и диагностика полученных результатов.
4. Разработка и систематизация на основании эконометрической модели индикаторов управления сферой профессионального образования на уровне регионов [3].

Инновационная активность предприятий в значительной степени зависит от ряда факторов, среди которых можно в первую очередь выделить человеческие и финансовые ресурсы, а также взаимодействия организаций с источниками информации, знаний и технологий. В условиях нехватки материальных и трудовых ресурсов «держаться на плаву» организациям помогает кооперация при проведении исследований и разработок, которая становится одним из возможных средств (зачастую единственным средством), позволяющих добиться результата в новых технических областях, а также на стыке областей знаний, которые наиболее востребованы на современном этапе развития общества.

Таким образом, эффективность инновационного развития во многом зависит не только от того, насколько успешна деятельность самостоятельных экономических агентов, но и от эффективности взаимосвязей между ними. При этом каждая взаимосвязь соединяет инновационное предприятие с другими субъектами инновационной системы: государственными лабораториями, университетами, политическими и регулирующими органами, конкурентами, поставщиками и потребителями [5].

Выяснение того, как происходит передача знаний и технологий, вступают ли предприятия в кооперационные связи и считают ли они это важным фактором своего инновационного развития, является центральным для проблемы изучения сотрудничества, кооперации и партнерства в инновационном процессе. В итоге возникает лучшее понимание процессов диффузии и появляется возможность наглядного представления и отображения потоков знаний, имеющая прямое отношение к разработке инновационной политики. Например, можно получить ответы на вопросы: следует ли политикам направлять особые усилия на способствование активному сотрудничеству, а если так, то какие типы партнеров наиболее важны, насколько велико значение перетоков знаний и технологий для развития инновационной активности предприятия? [2]

Статистика показывает, что отечественные предприятия в поисках инновационных идей замкнуты на собственный потенциал и опираются на свои внутренние источники – результаты деятельности научных, технологических, производственных и маркетинговых подразделений. Однако этот ресурс имеет большие ограничения: слабый уровень развития корпоративного сектора науки, отсутствие нужного количества успешных инноваторов. Из анкетных опросов в 2013 году известно, что небольшое количество опрошенных организаций оценивают научные организации академического профиля и университеты как основной источник информации для инновационной деятельности.

На вопрос «Как Вы оцениваете эффективность сотрудничества вуза с коммерческими предприятиями?» респондентами среди представителей предприятий и руководителей ВУЗов были даны следующие варианты ответов (рис. 1).

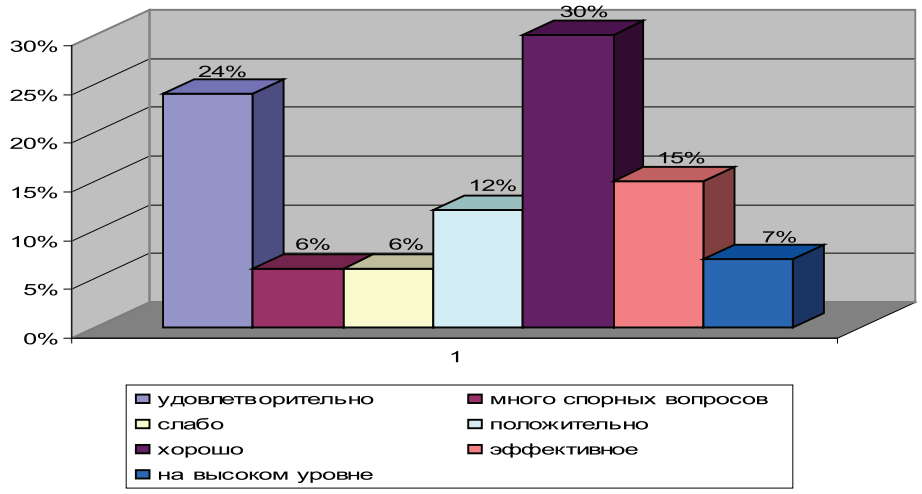


Рис. 1. Распределение ответов на вопрос «Как Вы оцениваете эффективность сотрудничества вуза с коммерческими предприятиями?»

В результате наблюдается большой разрыв между фундаментальной наукой и бизнесом.

В отличие от зарубежных стран в Казахстане вузы пока не обрели необходимой «мощности» в качестве базы для коммерциализации исследований и разработок – в Казахстане сохраняется глубокий разрыв между наукой и бизнесом.

Разрыв между фундаментальной наукой и бизнесом также наблюдается и в других странах мира. Например, в Японии до сих пор в основном полагаются на внутрифирменные исследовательские подразделения и на технологические знания, которые они получают от связанных с ними в течение долгого времени поставщиков [4].

В Австралии пока также недостаточно масштабны контакты между фирмами и исследовательскими организациями. В Голландии и Швеции кооперативные контакты идут только на уровне крупных фирм и крупных университетов. В кооперативной деятельности не задействованы средние и малые предприятия и организации [6].

В качестве объекта исследования для моделирования взаимосвязи между кооперацией и партнерством в научно-технической сфере и эффективностью деятельности вуза в работе был принят Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана. Использовались динамические ряды показателей деятельности университета с 2003 по 2014 гг. (рис. 2).

В качестве зависимой переменной Y использовался показатель «чистый доход вуза», в качестве независимых показателей рассматривались следующие переменные:

X_1 – объем финансирования научно-исследовательских проектов, выполняемых совместно с предприятиями, усл. ед.;

X_2 – количество совместных проектов по выполнению исследований и разработок, выполняемых совместно с предприятиями, ед.;

X_3 – количество партнеров, ед.;

X_4 – численность ППС, занятого в совместных проектах, чел.

Анализ матрицы коэффициентов корреляции показал наличие мультиколлинеарности исходных показателей. Явление мультиколлинеарности (статистической линейной зависимости между объясняющими переменными) приводит к низкой надежности получаемых оценок параметров регрессионной модели. Чтобы избежать данной проблемы, был использован метод исключения.

Реализация метода исключения [1] позволила оставить 2 переменные, объясняющие более 80 % общей дисперсии признаков – объем финансирования научно-исследовательских проектов, выполняемых совместно с предприятиями (X_1), и число ППС, занятых в совместных проектах (X_3). Результаты регрессионного анализа после удаления регрессоров X_2 и X_4 представлены в табл. 1, 2, 3:

Сквозное оценивание уравнения модели, игнорирующее случайную природу данных, позволило получить следующий результат:

$$\hat{Y} = \underset{(2.64)}{65771,72} + \underset{(2.82)}{6,47}\, fin + \underset{(4.1)}{5045,579}\, pps.$$

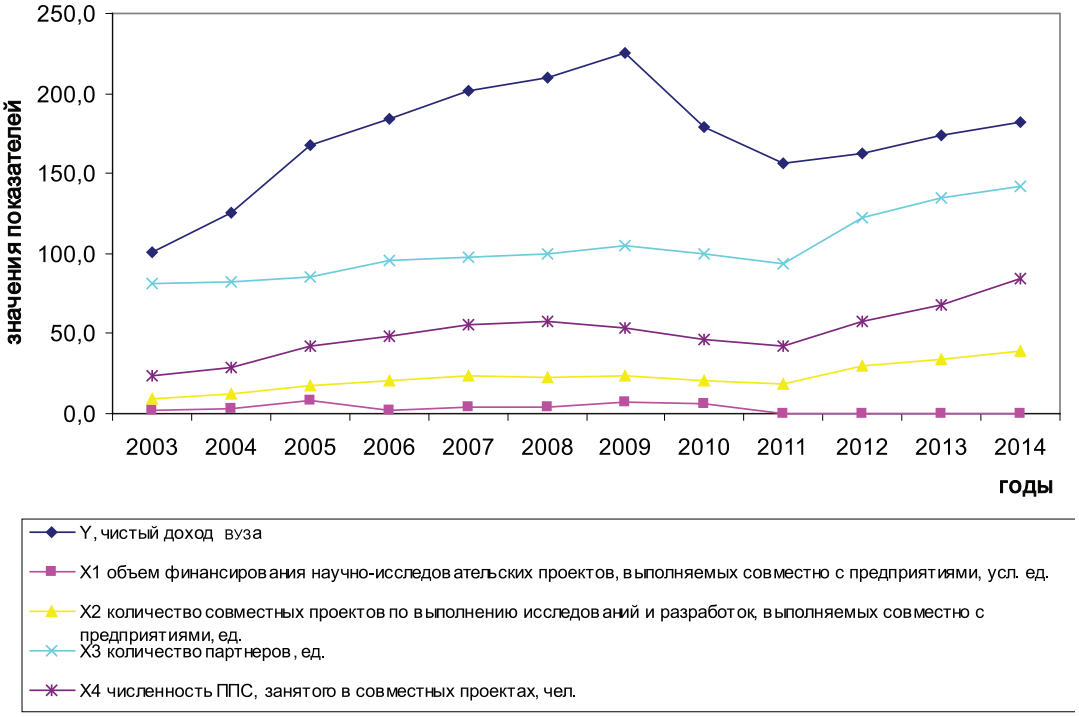


Рис. 2. Динамика исходных показателей для расчета модели

Таблица 1

Регрессионная статистика

Множественный R	0,888
R-квадрат	0,789
Нормированный R-квадрат	0,616
Стандартная ошибка	21382,329
Наблюдения	12

Таблица 2

Дисперсионный анализ

Показатели	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	2	9001277628	4500638814	10,844	0,005
Остаток	9	4114835935	457203992,8		
Итого	11	13116113563			

Таблица 3

Оценки параметров при регрессорах

Показатели	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y	65771,72535	24946,853	2,636	0,027	9338,022	122205,428
X1	6,473477468	2,293	2,823	0,020	1,286	11,660
X3	1697,16112	413,966	4,100	0,003	760,706	2633,617

В скобках под коэффициентами регрессии указаны t-статистики. F-тест показал значимость модели. Все коэффициенты значимы на 5% уровне значимости. Коэффициент детерминации составил 0,78, что позволяет считать качество модели достаточно приемлемым. То есть, судя по результатам, 78% вариации величины чистого

дохода университета обусловлено связью с объемом финансирования научно-технических проектов и числом ППС, занятого в совместных исследованиях. Увеличение первого показателя приведет к приращению чистого дохода на 6,47 усл. ед., а каждый дополнительно привлеченный к совместным проектам преподаватель университета может увеличить его чистый доход на 5045,579 усл. ед.

Выводы

Из приведенной модели следует, что оба показателя оказывают значимое положительное влияние на эффективность совместной деятельности вуза и предприятий. При увеличении объема финансирования научно-исследовательских проектов, выполняемых совместно с предприятиями, увеличивается чистый доход вуза, прибольшем привлечении ППС в совместные научные проекты с предприятиями объем чистого дохода вуза также увеличивается.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило значимое положительное влияние научно-технического партнерства на эффективность деятельности вуза, а также позволило численно оценить эту взаимосвязь.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 360 с.

2. Архипова М.Ю., Колобаева С.В. Моделирование влияния кооперации и партнерства в научно-технической сфере на инновационную активность в России. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. – 230 с.

3. Исарова Н.С. Эконометрическое моделирование развития регионального рынка профессиональных образовательных услуг // Экономические науки. – 2011. – № 6 (79). – С. 186–189.

4. Gordon I.R., MacCann P. Industrial Clusters: Complexes, Agglomerations, and/or Social Networks? Urban Studies. – 2000. – № 37. – P. 513–532.

5. Tether, Bruce S.; Tajar, Abdelouahid. Beyond industry-university links: Sourcing knowledge for innovation from consultants, private research organisations and the public science-base // Research Policy. – Published: OCT 2008. – Vol. 37 Issue: 9. – P. 1653–1654.

6. Lundvall B.A. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. – London: Printer Publishers, 1992.

References

1. Ayvazyan S.A., Mkhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki (*Applied statistics and econometrics*)*. Moscow, YUNITI, 1998, 360 p.

2. Arkhipova M.Y., Kolobaeva S.V. *Modelirovanie vliyaniya kooperatsii i partnerstva v nauchno-tekhnicheskoy sfere na innovatsionnuyu aktivnostv Rossii* (Modeling the impact of cooperation and partnership in scientific-technical sphere on innovative activity in Russia). Novocherkassk, YURGTU, 2012. 230 p.

3. Isarova N.S. *Ekonometricheskoe modelirovanie razvitiya regionalnogo rynka professionalnykh obrazovatelnykh uslug* (Econometric modeling of the development of the regional market professional educational services), *Ekonomicheskie nauki,* Economic science, 2011, no. 6(79), pp. 186–189.

4. Gordon I.R., MacCann P. Industrial Clusters: Complexes, Agglomerations, and/or Social Networks? Urban Studies. 2000. no. 37. pp. 513–532.

5. Tether, Bruce S.; Tajar, Abdelouahid. Beyond industry-university links: Sourcing knowledge for innovation from consultants, private research organisations and the public science-base. Research Policy Vol. 37 Issue: 9 Pages: 1653-1654 Published: OCT 2008.

6. Lundvall, B.A. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Printer Publishers, 1992.

Рецензенты:

Капанова С.Т., д.э.н., доцент, зам. директора по научной работе и международным связям института «АТиСО», ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инженерно-гуманитарный университет», г. Уральск;

Габдуалиева Р.С., д.э.н., профессор, декан факультета экономики и бизнеса РГП на ПХВ, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 336.77:658

ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ НА КРЕДИТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЯ

Конобеева О.Е., Конобеева Е.Е.

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», Орел, e-mail: ogiet@ogiet.ru

Развитие экономических отношений, переход предприятий к новому экономическому механизму управления ресурсами потребовали создания современных и гибких подходов к оценке финансового состояния, выбору направлений инвестиционной политики. Предметом исследования в статье являются стратегия и тактика формирования заемных финансовых ресурсов в российских компаниях. В ходе исследования использовались общенаучные методы (анализ теоретической базы кредитоспособности), обобщение и синтез точек зрения по способам привлечения предприятиями дополнительных средств, методы сравнений с нормативными значениями, комплексная оценка финансового состояния и аналитические процедуры. В качестве способов оценки кредитоспособности учитывались следующие дополнительные характеристики: уровень делового риска и менеджмента, величина денежного потока. В исследовании определено влияние многих факторов на финансовую устойчивость, в том числе: степень колебаний рыночного спроса на продукцию (услуги); не оптимальное соотношение собственных и заемных источников финансирования; рост кредиторской задолженности фирмы. Результатом исследования являются рекомендации российским предприятиям по доступности привлечения заемных средств и повышения ответственности менеджмента компании – заемщика кредитных ресурсов путем введения дополнительных условий и ограничений: снижение лимита максимальной долговой нагрузки; четкое установление критериев платежеспособности.

Ключевые слова: финансовая устойчивость, кредитоспособность, кредитные риски, финансовые ресурсы

INFLUENCE OF THE RESULTS OF FINANCIAL ANALYSIS ON CREDIT POTENTIAL OF THE ENTERPRISE

Konobeeva O.E., Konobeeva E.E.

FCBOU VPO «Oryol State Institute of Economy and Trade», Oryol, e-mail: ogiet@ogiet.ru

Development of economic relations and transition of the enterprises to new economic mechanism of resource management have demanded creation of modern and flexible approaches to the assessment of financial condition and choice of investment policydirections. The object of the research in the article is strategy and tactics of formation of debt financial resources in Russian companies. During the research general scientific methods (analysis of creditworthinesstheoretical base), generalization and synthesis of the viewpointson the ways ofextra means attraction by the enterprises, comparisons methods with standard values, complex assessment of financial condition and analytical procedures were used. The following additional characteristics were consideredas the ways of creditworthinessestimation: business risklevel and management and the amount of cash flow. Influence of many factors on financial stability is definedin the research, including: fluctuations degree of market demand for production (services),nonoptimalcorrelation of own and extra sources of financing and growth of creditor debts of firm. The result of the research are recommendations to Russian enterprises concerning the availability of extra meansattraction and increase of management responsibility of the company which borrows credit resources by introduction of additional conditions and restrictions, such as: decrease of the maximum debt limit and accurate determination of solvency criteria.

Keywords: financial stability, credit status, credit risks, bankroll

В последние годы в России был осуществлен переход к принципиально новым экономическим отношениям, который обусловил необходимость кардинальных преобразований в банковской сфере и финансово-кредитной политике государства.

Следует отметить, что особое место в экономической системе сегодня занимает кредитование, т.к. данный сектор банковских операций получил наибольшее распространение, как среди юридических лиц, так и среди физических лиц. В среднем по России удельный вес краткосрочных кредитов в общем объеме выданных ссуд составляет приблизительно 80 % [1]. Отмечается тенденция, связанная с тем, что в целом краткосрочные кредиты являются наиболее ликвидными, чем среднесрочные и долгосрочные.

Определение кредитоспособности заемщика обусловливается повышенным вниманием надзорных органов к оценке кредитных рисков банками. Высокие кредитные риски, связанные с кредитованием реального сектора отечественной экономики, ставят банки перед необходимостью разработки и усовершенствования технологий, позволяющих качественно и в приемлемые сроки оценить кредитоспособность заемщиков кредитных ресурсов.

Кредитоспособность клиента коммерческого банка – способность заемщика полностью и в срок рассчитаться по своим долговым обязательствам (основному долгу и процентам) [1].

Исследование проблемы кредитоспособности выявило использование разных методик ее оценки. Наиболее часто используемая в российской практике кредитных организаций система оценки финансового состояния основана на следующих направлениях: финансовый анализ (проводится на основе системы финансовых показателей) и качественный (нефинансовый) анализ.

Апробация данных методик осуществлена по данным бухгалтерской отчетности ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест», занимающегося реализацией кровельных материалов (металлочерепицы), оптовой торговлей строительных материалов в Орловской области. В холдинг «Металл – Инвест» (бренд МИР КРОВЛИ) входят три предприятия (Торговая Компания «Металл – Инвест», Торговый Дом «Металл – Инвест», МИР КРОВЛИ).

В рамках реализации инвестиционного проекта по закупке оборудования для производства водосточной системы, в целях расширения сбытовой сети в Орловской и Брянской областях предприятию необходимы дополнительные финансовые ресурсы. Одним из источников финансирования выступает заемный капитал, т.е. кредиты коммерческих банков [3].

Рис, 1. Схема определения кредитоспособности заемщика

Оценка финансовой политики заемщика производится с учетом тенденций в изменении финансового состояния и факторов, влияющих на эти изменения. С этой целью проводится анализ динамики оценочных показателей, структуры статей баланса, качества активов, основных направлений хозяйственно-финансовой деятельности предприятия [1]. В исследовании использована схема кредитоспособности, представленная на рис. 1.

ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» – организация, чье финансовое состояние можно оценить как среднее. При анализе бухгалтерского баланса обнаружилась «слабость» отдельных финансовых показателей. У анализируемой организации платежеспособность и финансовая устойчивость находятся в целом на приемлемом уровне. Показатели финансовой устойчивости ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» отображены в виде диаграммы (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что деятельность предприятия на данный момент времени финансируется большей частью за счет дополнительно привлеченных средств в виде кредитов и займов, что на, наш взгляд, увеличивает степень кредитных рисков, приводит к опасности неплатежеспособности [6].

финансово-хозяйственной деятельности. Общество показало удовлетворительный уровень доходности, хотя отдельные показатели находятся ниже значений, рекомендуемых ОАО «Сбербанк РФ». ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» имеет неоптимальное соотношение собственных и заемных источников финансирования, сдвинутое в пользу заемного капитала.

При этом наблюдается опережающий прирост кредиторской задолженности по сравнению с приростом других заемных источников, а также по сравнению с приростом дебиторской задолженности.

Изучение и анализ показателей ликвидности ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» выявило увеличение денежных средств, снижение просроченной задолженности, а также наличие финансовых ресурсов, не задействованных в экономическом процессе (табл. 1). Такая тенденция развития, направленная на сверхнормативное улучшение отдельных показателей кредитной организации, благоприятно отражается на организации взаимоотношений с другими предприятиями, бюджетом, банками, страховыми компаниями. При расчете класса кредитоспособности заемщика в ОАО «Сбербанк

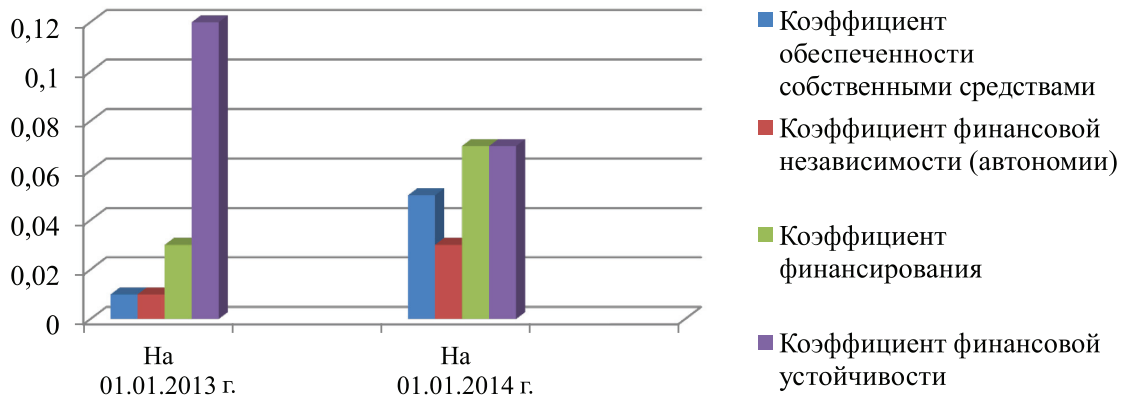


Рис. 2. Динамика показателей финансовой устойчивости ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест», в единицах [5]

Изучение практики деятельности российских предприятий показало, что снижение финансовой устойчивости повышает зависимость от внешних инвесторов [3].

Следует отметить, что анализируемая организация ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» недостаточно устойчива к колебаниям рыночного спроса на продукцию (услуги) и другим факторам

РФ», используются следующие показатели: коэффициент абсолютной ликвидности (К1), промежуточный коэффициент покрытия (быстрой ликвидности) (К2), коэффициент текущей ликвидности (К3), коэффициент наличия собственных средств (К4), показатель рентабельности продаж (К5), показатель рентабельности деятельности предприятия (К6) [4].

Таблица 1

Анализ платежеспособности ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» [2]

Наименование показателя	Нормативное ограничение Сбербанка, в ед.	На 01.01.2013 г., в ед.	На 01.01.2014 г., в ед.	Отклонение, в ед.
1. Коэффициент абсолютной ликвидности (L1) ф. 8	L1 ≥ 0,1	0,01	0,06	0,05
2. Коэффициент «критической оценки» (L2) ф. 7	L2 >> 0,7–1	0,5	0,2	–0,3
3. Коэффициент текущей ликвидности (L3) ф. 6	L3 ≥ 1	1,11	1,04	–0,07
4. Коэффициент маневренности (L4)	L4 ≥ 0,2–0,5	0,37	0,7	0,33
5. Доля оборотных средств в активах (L5) ф. 5	L5 ≥ 0,5	0,98	0,98	0
6. Коэффициент обеспеченности собственными средствами (L6) ф. 13	L6 ≥ 0,1	0,01	0,05	0,04

Таблица 2

Расчет рейтинга кредитоспособности заемщика ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» по показателям кредитоспособности [2]

Показатель	Фактическое значение		Категории		Вес показателя	Расчет суммы баллов	
	1 период	2 период	1 период	2 период		1 период	2 период
К1	0,01	0,06	3	2	0,05	0,15	0,1
К2	0,1	0,5	3	2	0,10	0,3	0,2
К3	1,11	1,04	2	2	0,40	0,8	0,8
К4	0,03	0,06	3	3	0,20	0,6	0,6
К5	0,04	0,02	2	2	0,15	0,3	0,3
К6	0,07	0,04	1	2	0,10	0,1	0,2
Итого	1,36	1,72	–	–	1	2,25	2,20

Расчетные значения показателей платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности и рентабельности ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» обобщены в таблице рейтинга заемщика (табл. 2).

Представленные показатели определяют конкурентоспособность предприятия, его потенциал в деловом сотрудничестве, оценивают, в какой мере гарантированы экономические интересы самого предприятия и его российских и зарубежных партнеров по финансовым и другим экономическим отношениям. Фактические значения коэффициентов сравниваются с нормативными по определенной шкале (табл. 3).

Исследуемая организация ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» как клиент ОАО «Сбербанк России». г. Орел является второклассным заемщиком. Об этом свидетельствует рассчитанная сумма баллов, которая влияет на рейтинг заемщика ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест», составившая в 2012 году 2,25 и в 2013 году 2,20. Второклассные заемщики кредитуется в обычном порядке, т.е. при наличии обеспечения возврата (гарантий, залога, поручительств, страхового полиса).

Таблица 3

Шкала нормативных значений кредитоспособности коммерческого банка (ОАО «Сбербанк» РФ) [4]

Коэффициенты	1 категория	2 категория	3 категория
К1	0,1 и выше	0,05–0,1	менее 0,05
К2	0,8 и выше	0,5–0,8	менее 0,5
К3	1,5 и выше	1,0–1,5	менее 1,0
К4	0,25 и выше	0,15–0,25	менее 0,15
К5	0,10 и выше	менее 0,10	нерентаб.
К6	0,06 и выше	менее 0,06	нерентаб.

Определение размера расчетного резерва по ссуде производится кредитной организацией самостоятельно на основе профессионального суждения и в зависимости от того, к какому классу относится кредитуемое предприятие.

Так как объект исследования относится ко второму классу кредитоспособности, то резерв на возможные потери по ссудам формируется Банком в размере от 1 до 20% в пределах основного долга [4]. Для банка анализируемый заемщик в лице ООО «Торговый Дом «Металл – Инвест» не является рискованным, но для большей безопасности банк обязан тщательно проверить бухгалтерскую отчетность предприятия, обеспечение возврата ссуды, т.е. чем предприятие подстраховывается в случае невозврата ссуды.

Это позволит банку еще на ранней стадии принять к заемщику меры, обеспечивающие своевременный возврат кредита или уплату процентов, а именно: перестройку деятельности заемщика, изменение графика погашения кредита, порядка уплаты процентов.

При составлении итогового заключения о кредитоспособности предприятия, проводится также качественный анализ информации, которая не может быть выражена в количественных показателях – риски, состояние экономической среды, производственный и управленческие [3].

В соответствии с принятой Концепцией развития Сбербанка России, миссией Сбербанка России является обеспечение потребности каждого клиента, в том числе частного, корпоративного и государственного, на всей территории России в банковских услугах высокого качества и надежности; обеспечение устойчивого функционирования российской банковской системы, сбережение вкладов населения и их инвестирование в реальный сектор экономики; содействие развитию экономики России [4].

Таким образом, исследование показало, что исходя из современного состояния банковской системы России и политики Правительства РФ и Банка России по ее реформированию, система оценки кредитоспособности является одной из стратегических направлений развития кредитных организаций в России [5].

В качестве альтернативного подхода методики оценки кредитоспособности юридических лиц – клиентов банка, выступает соединение анализа финансового и нефинансового состояния клиента. Включение в методику оценки перспектив развития фирмы, изучение менеджмента заемщика, анализ счета с точки зрения достаточности финансовых потоков для погашения кредитов, исследование финансовых рисков, позволит, при неблагоприятном прогнозе, ограничить объем выдаваемых кредитных ресурсов клиенту, при благоприятном – для клиента создаются все удобные условия при выдаче кредита.

Отечественный опыт организации и управления финансово-кредитной политики свидетельствует о необходимости повышения уровня и качества контроля со стороны кредитных организаций за ответственным поведением собственников и менеджмента, что возможно путем введения дополнительных условий и ограничений: снижение лимита максимальной долговой нагрузки; расширение перечня событий, влекущих досрочное истребование задолженности банком; более четкое определение критериев кросс-дефолта по обязательствам клиента перед другими кредиторами.

Список литературы

1. Баранов П., Лунева Ю. Принципы формирования методики оценки кредитования заёмщика // Аудитор. – 2012. – № 9. – С. 48–52.

2. Бесплатная выписка из ЕГРЮЛ Онлайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.egrul.com/ (дата обращения 25.01.2015).

3. Конобеева Е.Е., Конобеева О.Е., Лыгина Н.И. Финансовые механизмы управления холдинговыми структурами бизнеса // Вестник ОрелГИЭТ. – 2014. – № 2 (28). – С. 25–29.

4. Официальный сайт Сбербанка России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sberbank.ru/ (дата обращения 25.01.2015).

5. Скворцова Н.А. Перспективы стратегического развития регионов России // Вестник ОрелГИЭТ. – 2010. – № 4(14). – С. 61–67.

6. Сотникова Е.А. Показатели интенсификации промышленного производства // Известия ОрелГТУ. Социально-экономические и гуманитарные науки. – 2008. – № 1–2. – С. 177–181.

References

1. Baranov P., Luneva Ju. Principles of Estimation Procedure of Borrower Crediting. *Auditor –Auditor*, 2012, no.9, pp. 48–52.

2. *Besplatnaja vypiskaiz EGRJuL* (Free Extract from EGRU) Available at: http://www.egrul.com/ (accessed 1 february 2015).

3. Konobeeva E.E., Konobeeva O.E., Lygina N.I. Financial Management Mechanisms of Holding Business Structures. *VestnikOrelGIJeT – Orel GIET Bulletin*, 2014, no. 2 (28), pp. 25–29.

4. *Oficial'nyjsajt Sberbanka Rossii* (Official Site of Sberbank of Russia) Available at: http://www.sberbank.ru / (accessed 1 february 2015).

5. Skvortsova N.A. Strategic Development Prospects of Russia's Regions. *Vestnik Orel GIJeT – Orel GIET Bulletin*, 2010, no.4 (14), pp. 61-67.

6. Sotnikova EA Intensification of industrial production indices. *Izvestija Orel GTU. Social'no-jekonomicheskie i gumanitarnye nauki – News OrelGTU. Socio-economic and humanitarian nauki,* 2008, no. 1–2, pp. 177–181.

Рецензенты:

Ляпина И.Р., д.э.н., доцент, профессор кафедры «Предпринимательство, логистика и маркетинг», ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел;

Строева О.А., д.э.н., профессор, и.о. зав. кафедрой «Экономика и финансы», Орловский филиал, ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», г. Орел.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 005.21:658.8

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МАРКЕТИНГ КАК ОСНОВА СТАБИЛЬНОГО РОСТА КОМПАНИИ

Лебедева О.А., Скворцова Н.А., Сотникова Е.А.

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», Орел, e-mail: o.a.leb@mail.ru

В статье рассматривается применение маркетингового подхода к управлению организацией. Автор рассматривает маркетинговую деятельность организации как совокупность четырех уровней: операционная поддержка бизнеса, управление жизненным циклом товаров, производство маркетингового «продукта», стратегия развития бизнеса. Выбор перспективного направления развития бизнеса должен осуществляться с учетом результатов количественных и качественных исследований рыночных тенденций. Зачастую выбор нового направления развития компании становится единственно возможным подходом, обусловленным потребностями существующего бизнеса. Большую помощь руководству предприятия в работе с клиентами могут оказать дистрибьюторы. Достижению успеха в бизнесе способствует исследование потребностей дистрибьюторов и разработка партнерских программ маркетинговых коммуникаций. Также успех работы предприятия на рынке зависит от эффективной стратегии позиционирования компании для целевой аудитории.

Ключевые слова: маркетинговая деятельность организации, поддержка бизнеса, направления развития компании, покрытие рынка, канал дистрибуции, целевая аудитория, позиционирование компании

STRATEGIC MARKETING AS THE BASIS OF STABLE COMPANY GROWTH

Lebedeva O.A., Skvortsova N.A., Sotnikova E.A.

FGBOU VPO «Oryol State Institute of Economy and Trade», Oryol, e-mail: o.a.leb@mail.ru

Marketing approach to management of organization is considered in the article. The author regards marketing activity of organization as a set of four levels. They are: operational support of business, management of life cycle of commodities, manufacture of marketing «product» and strategy of business development. The choice of perspective direction of business development should be carried out with the account taken of the results of quantitative and qualitative market tendencies researches. Frequently the choice of new direction of company development is the unique approach caused by the requirements of existing business. Distributors can help business management greatly in the work with clients. Research of distributors' needs promotes business success and working out of partner programs of marketing communications. Besides, the enterprise success in the market depends on effective strategy of company positioning for target audience.

Keywords: marketing activity of the organization, business support, direction of the company development, market coverage, distribution channel, target audience, company positioning

Все благополучные (стабильно и динамично развивающиеся в течение долгого времени) компании в чем-то похожи. Они обычно занимают устойчивые позиции в одном или нескольких сегментах рынка, их доля рынка постоянно растет, их уважают заказчики и партнеры. Эти компании обычно оказываются готовыми к рыночным изменениям раньше других и приспосабливаются к новым условиям быстрее и безболезненнее, чем конкуренты.

Современные реалии рыночной системы диктуют ее субъектам неизбежность постоянного соперничества и стремления к прогрессу, необходимость опережать потенциальных конкурентов и укреплять свои позиции в краткосрочной и долгосрочной перспективах [3, с. 144]. Осведомленность о том, что происходит на рынке, готовность к реорганизации бизнеса, способность принимать стратегические решения быстрее других – основы конкурентоспособности любого предприятия.

Все это выходит за рамки маркетинга даже в его самом широком понимании. Однако маркетинговый подход применяют и для того, чтобы справиться с проблемами управления в организации. В большинстве случаев качество принятых решений от этого существенно улучшается.

Для того чтобы дальнейшие рассуждения стали предметными, имеет смысл уточнить, о каких аспектах маркетинга пойдет речь. На наш взгляд, всю маркетинговую деятельность организации можно представить в виде пирамиды из четырех уровней:

– операционная поддержка бизнеса;

– управление жизненным циклом товаров;

– производство маркетингового «продукта»;

– стратегия развития бизнеса.

В большинстве компаний маркетинговая служба (отдел, департамент и т. д.) несет ответственность за выполнение функций не всех четырех уровней. Опишем каждый из них.

Уровень первый – операционная поддержка бизнеса. Деятельность на этом уровне полностью определяется тактическими потребностями бизнес-подразделений. Изготовление брошюр, сувениров, презентации продуктов заказчикам – примеры таких «поддерживающих» функций.

Уровень второй – управление жизненным циклом товара. Функции этого уровня – это, например, тактическое управление ценой; вывод товара на рынок; реклама; обучение персонала (семинары по характеристикам новых товаров); разработка мотивационных схем для продавцов и партнеров (стимулирование их деятельности по продвижению товара).

Уровень третий – производство маркетингового «продукта». Сюда входит разработка стратегических маркетинговых программ, крупных рекламных кампаний, рассмотрение новых предложений и возможностей по работе с партнерами. Под маркетинговым «продуктом» понимается предложение, которое после одобрения руководством становится стратегией компании (или составной частью стратегии). Обобщая и анализируя происходящее на рынке, маркетологи «производят» новые методы работы, с помощью которых компания может добиться качественного прорыва.

И наконец, на четвертом уровне стратегии развития бизнеса «расположены» планы построения бренда и модели покрытия рынка, выбор стратегии позиционирования (или перепозиционирования) компании и диверсификации бизнеса и т.д.

Наверное, ни у кого не вызовет сомнений то, что выполнение функций четвертого (и частично третьего) уровня напрямую влияет на стабильность и развитие бизнеса компании. Во всех успешных коммерческих организациях эти функции каким-то образом выполняются, однако, как уже было сказано выше, далеко не везде их возлагают на службу маркетинга.

У любого талантливого руководителя всегда есть несколько интересных идей развития бизнеса. Небольшие компании обычно достаточно мобильны для того, чтобы методом проб и ошибок выбирать те направления, где удается получать максимальную отдачу. У большой компании такой возможности нет: каждое ее «движение» занимает много времени, требует отвлечения больших ресурсов и сопровождается весьма значимыми рисками. Решение о перспективности того или другого направления развития бизнеса необходимо принять «заочно», не имея возможности получить реальный опыт в новом бизнесе, не отвлекая ресурсы на «разведку боем». Каждый руководитель решает эту задачу сам, и от качества этого решения напрямую зависит долгосрочный успех компании. Маркетинговое прогнозирование – эффективный инструмент для руководителя компании, с помощью которого он сможет видеть дальше других и получит возможность принимать решения, исходя из лучшего понимания будущего.

Когда на рынке становится очевидной какая-то тенденция, и все игроки начинают развивать новое направление бизнеса, необходимо очень точно выбрать момент начала активных действий. Выступить слишком рано часто бывает так же плохо, как упустить свое время. Те, кто продолжает поддерживать полную линейку товаров, находятся в более выгодном положении. Но смогут ли они быстро отреагировать на новую ситуацию, когда рынок все же совершит полный поворот к цвету? Это будет зависеть от того, насколько качественными маркетинговыми исследованиями такие компании будут руководствоваться при принятии стратегических решений. Им понадобятся результаты количественных исследований рыночных тенденций и качественных исследований, направленных на изучение факторов, которые влияют на принятие клиентами решения о покупке. Следует отметить, что сейчас ведущие производители товаров очень серьезно занимаются этими вопросами.

Иногда еще более важной является проблема выбора правильного направления развития компании. Если основной бизнес коммерческой организации не может обеспечить требуемых темпов роста, выбор нового направления («запасного аэродрома») становится для руководства компании самым важным решением. Глобализация экономики и интеграционные процессы, происходящие в мире, заставляют руководство организаций искать пути осуществления эффективного делового сотрудничества, основанного на электронных контактах, исследовать общепризнанные мировые стандарты в области управления взаимоотношениями с клиентами [6, с. 42].

Решение о выборе направления развития компании, безусловно, одно из самых ответственных для любого руководителя. Но правильно выбрать направление

развития компании – это лишь часть задачи. Сделать так, чтобы все направления деятельности компании работали на ее успех и возникал эффект синергии, не менее важно.

Иногда решение о начале работы в новом направлении может быть обусловлено потребностями существующего бизнеса. По этой причине создаются вертикально интегрированные холдинги («все для себя производим сами»). Однако мировой опыт все чаще свидетельствует о перспективности специализации, т.е. отказе от идеи «заниматься всем» в пользу решения «делать то, что ты умеешь делать лучше всех».

Какие соображения должны приниматься во внимание при формировании холдинговой структуры? При каких условиях такая структура эффективна? Кроме случаев, когда несколько направлений бизнеса в рамках холдинга связаны лишь общим капиталом и функционируют полностью независимо, компания, которая занимается многими видами деятельности сразу, должна добиться эффекта синергии (т.е. того, чтобы бизнесы положительно влияли друг на друга, а не просто сосуществовали рядом). Иногда синергия очевидна сразу, а иногда ее вообще не удается достичь. И хотя формирование оптимальной структуры компании – задача чрезвычайно комплексная и при ее решении необходимо рассмотреть множество факторов, от финансовых до психологических, методы стратегического маркетинга можно применить и здесь. Еще раз отметим, что речь идет не о чисто холдинговых структурах, функционирующих как несколько полностью независимых друг от друга компаний и воспринимаемых рынком (заказчиками, партнерами) соответственно.

Описываемый ниже подход используют, когда объединенная компания имеет собственную индивидуальность, имя, репутацию – т.е. собственный бренд. При этом у каждого бизнеса есть своя маркетинговая стратегия и бюджет, свои руководитель и управленческая команда, ответственные за результат. Одним из важнейших факторов, на который необходимо обращать внимание в подобных случаях, является совместимость отдельных бизнесов в холдинге. Дело в том, что маркетинговая деятельность, которую компания ведет «в интересах» каждого из направлений своего бизнеса, может мешать общему позиционированию компании, разрушать ее бренд. Приведем пример. Для одного из бизнесов выбрана стратегия лидерства по издержкам, т.е. предложения товаров и услуг по самым низким ценам, а другой следует стратегии дифференциации (компания позиционирует себя как производителя наиболее качественных товаров, как новатора и эксперта). В этом случае маркетинговые сообщения, посылаемые на рынок, будут противоречить друг другу и «размывать» бренд. И наоборот если позиционирование каждого бизнеса компании на соответствующем рынке помогает ее общему позиционированию и работает на бренд, возникнет эффект синергии.

Если в структуру компании входит известная консалтинговая фирма, крупный системный интегратор, исследовательский центр и HiTech-производитель, ей можно уверенно строить бренд эксперта в вопросах внедрения IT и развития бизнеса.

Иными словами, вопрос о необходимости развития нового бизнеса в компании можно сформулировать в маркетинговых терминах: укрепит новый бизнес-бренд вашей компании или повредит ему? А решить этот вопрос помогут проверенные способы бренд-анализа и методы качественных маркетинговых исследований восприятия бренда целевыми аудиториями.

Если вопросы выбора направления деятельности и гармоничности сосуществования разных бизнесов компании многие совершенно справедливо сочтут «не вполне маркетинговыми», то право выбора канала продаж и модели покрытия рынка у маркетологов не отнять. О проблеме выбора оптимальной модели покрытия написано много хороших книг, в которых преимущества работы с клиентами через сеть партнеров обосновываются следующими соображениями.

Во-первых, работа через партнеров обеспечивает «усиление продаж», так как позволяет сконцентрировать усилия на ключевых заказчиках, не потеряв при этом и другие сегменты рынка. Во-вторых, работа с клиентами через правильно выбранный канал дистрибуции позволяет оптимизировать транзакционные издержки.

Канал дистрибуции выбирают в зависимости от «сложности» товара (т.е. от требований покупателей к тому, что принято называть «продажей с добавленной ценностью»). При выборе структуры канала распределения анализируют: покрытие целевого рынка, удовлетворение требований потребителей, доходность. В первом случае канал распределения должен создавать оптимальные возможности для поставки товаров, предназначенных для целевых сегментов. Во втором – предлагать клиенту информацию, разнообразный ассортимент товаров и услуг. В третьем случае исходят

из потребности предприятия обеспечить минимальные издержки [4, с. 263].

Однако применение описанных выше моделей покрытия рынка становится все в большей степени ограниченным. Эти модели несколько односторонни: предполагается, что дистрибьютор готов рассматривать любые предложения и продвигать товар, как только представится такая возможность. В реальности практически на всех рынках конкуренция между производителями настолько быстро растет, что у дистрибьютора появляется богатый выбор и возможность диктовать свои условия сотрудничества.

Если раньше теоретики маркетинга рассматривали вопрос позиционирования только по отношению к производителям, то теперь они принимают во внимание такой источник конкурентного преимущества, как «позиционирование доступа». Такое позиционирование основано на легкости доступа к рынку (у партнера фирмы в определенном городе есть существенные преимущества, связанные прежде всего с тем, что он знает многих ключевых заказчиков этого города).

Если согласиться с тем, что канал сбыта так же важен для успеха бизнеса, как и товар, становится очевидным, что исследование потребностей дистрибьютора и восприятия им бренда компании так же важно, как изучение потребностей клиентов и восприятие бренда ими. Однако каналы сбыта все еще достаточно редко исследуются с помощью маркетинговых методов. И до сих пор очень мало программ маркетинговых коммуникаций направлено на изменение восприятия производителей дистрибьюторами. Под партнерскими программами в основном понимаются программы мотивации (такие, как выдача призов по достижении определенного объема продаж).

Принимая во внимание все вышесказанное, можно сделать вывод: выбор оптимальной модели покрытия рынка (канала сбыта) должен сопровождаться серьезным исследованием восприятия дистрибьюторами предложения ценности. При обнаружении несоответствий необходимо рассчитать, располагает ли фирма достаточными маркетинговыми ресурсами, чтобы изменить положение дел («исправить» восприятие существующего предложения дистрибьютором и разработать партнерские программы, соответствующие ожиданиям дистрибьютора).

Существует мнение, что внутренние кризисы помогают компаниям стать более динамичными, гибкими, научиться успешно противостоять бюрократизации процессов. Наверное, в этом есть доля правды, однако все предпочли бы иметь возможность избегать крупных системных кризисов, предвидя их и заранее вносия соответствующие коррективы в стратегию компании.

Частично прогнозированию и предотвращению кризисов служит тщательная работа по выбору стратегических рынков, о которой мы говорили выше. Однако не ошибиться с выбором приоритетных рынков еще не достаточно для того, чтобы обеспечить компании устойчивость в будущем. Необходимо также создать у целевой аудитории правильное понимание того, что компания ей предлагает и чем она собирается для нее стать.

Цель бизнеса в современном маркетинге меняет акцент. Раньше эта цель состояла в максимизации прибыли, а теперь – в привлечении максимального количества клиентов. Акцент смещается с неодушевленной категории прибыли на одушевленную – клиентов. Прибыль можно получить любыми средствами, включая неправомерные. Новых клиентов как категорию одушевленную можно привлечь соответствующим имиджем и хорошей репутацией фирмы, а их можно завоевать только честным путем [5, с. 7].

Компании-лидеры ставят перед собой далеко идущие стратегические цели: выйти на новый рынок, завоевать передовые позиции, добиться высокой лояльности заказчиков и т.д. Достижение таких целей требует ресурсов и времени.

Кроме того, позиционирование компании в глазах клиентов, партнеров, других участников рынка – процесс инерционный. Часто происходит так, что, даже если компания приняла важные для нее стратегические решения и активно занялась изменением своего бизнеса, рынок продолжает воспринимать ее по-старому. Для того чтобы донести суть происходящих преобразований до целевой аудитории, требуются специальные усилия. Скорость реакции фирмы на рыночные изменения часто оказывается низкой. При этом есть опасность отстать от конкурентов, т.е. возникает угроза длительной нестабильности.

Заключение

Стабильность и динамика – вещи трудно совместимые. Обеспечение опережающего роста компании и поддержка долго-

срочной стабильности – с каждой из этих задач весьма сложно справиться. Однако сегодня компании, которые ставят перед собой цель оставаться лидерами на рынке в течение продолжительного времени, должны решать их одновременно. Решение этих задач связано с внедрением методов маркетинга в процессы принятия стратегических решений.

Список литературы

1. Аакер, Д. Стратегия управления портфелем брендов: пер. с англ. Т.В. Виноградовой; под ред. С.Г. Божук. – М.: Эксмо, 2011. – 320 с.

2. Браверман А.А. Маркетинговые стратегии роста прибыльности и стоимости бизнеса / под ред. А.А. Бравермана. Практика крупных российских компаний. – М.: Изд-во «Экономика», 2011. – 319 с.

3. Конобеева О.Е., Конобеева Е.Е. Проблемы и перспективы повышения конкурентоспособности экономики России // Вестник ОрелГИЭТ. – 2010. – № 4 (22). – С. 144–148.

4. Маркетинг: учебник / колл. авторов; под ред. проф. Т.Н. Парамоновой. – М.: КНОРУС, 2008. – 360 с.

5. Матанцев А.Н. Анализ рынка: настольная книга маркетолога. – М.: Изд-во «Альфа-Пресс», 2009. – 552 с.

6. Скворцова Н.А., Лебедева О.А. Современная система маркетинга как стратегия эффективности бизнеса // Вестник ОрелГИЭТ. – 2011. – № 1(15). – С. 42–44.

References

1. Aaker D. *Strategija upravlenija portfelem brendov* [Strategy of Brands Portfolio Management]. Eksmo, 2011. 320 p.

2. Braverman A.A. *Marketingovye strategii rosta pribylnosti i stoimosti biznesa* [Marketing Strategy of Profitableness and Business Cost Growth. Practice of Large Russian Companies] Moscow, 2011. 319 p.

3. Konobeeva O.E. Konobeeva E.E. Problems and Prospects of Increase of Russia Economy Competitiveness *Vestnik Orel GIJeT* – OryolGIET Bulletin, 2010, no. 4 (22), pp. 144–148.

4. *Marketing* [Marketing: Textbook / Group of Authors; edited by Prof. T.N. Paramonova]. KNORUS, 2008. 360 p.

5. Matantsev A.N. *Analizrynka: nastolnaja kniga marketologa* [Market Analysis: Reference Book of Marketer]. Publishing House «Alpha Press», 2009. 552 p.

6. Skvortsova N.A., Lebedeva O.A. Modern Marketing System as a Strategy of Business Efficiency. *Vestnik Orel GIJeT* – OryolGIET Bulletin, 2011, no. 1 (15), pp. 42–44.

Рецензенты:

Паршутина И.Г., д.э.н., профессор, проректор по учебной работе, ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», г. Орел;

Ляпина И.Р., д.э.н., доцент, профессор кафедры «Предпринимательство, логистика и маркетинг», ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 334.722.8

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСТЫХ АКТИВОВ КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДАННЫМ БУХГАЛТЕРСКОЙ (ФИНАНСОВОЙ) ОТЧЕТНОСТИ

Лытнева Н.А., Кыштымова Е.А.

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», Орёл, e-mail: ogiet@orn.ru; ogiet@ogiet.ru

Развитие учетно-аналитических систем, реформирование бухгалтерской (финансовой) отчетности ведут к необходимости совершенствования оценки и анализа показателей, которые являются индикаторами функционирования коммерческих предприятий. К таким показателям относятся чистые активы, характеризующие состояние собственного капитала, его формирование и использование. Значимость показателя чистых активов требует своевременной их оценки, анализа динамических тенденций, обеспеченности собственным капиталом, влияния факторов, их формирующих, с применением современных методов анализа, компьютерных программ и профессиональных автоматизированных продуктов. Развитие методики оценки чистых активов востребовано анализом платежеспособности и финансовой устойчивости организации, разработкой перспективной стратегии деятельности, а также потребностью заинтересованных пользователей в стабильном и рентабельном его функционировании. Используя показатели бухгалтерской (финансовой) отчетности, коммерческие предприятия могут проанализировать состояние чистых активов в отчетный и прошлый периоды, построить прогноз на ближайшую перспективу. Использование методов прогнозирования величины чистых активов позволит разработать эффективную экономическую политику максимизации прибыли и накапливания собственного капитала.

Ключевые слова: чистые активы, отчетность, собственный капитал, прибыль, анализ, прогнозирование, платежеспособность, финансовая устойчивость

THE METHOD OF ESTIMATION AND FORECASTING OF NET ASSETS OF JOINT STOCK COMPANIES ACCORDING TO THE ACCOUNTING (FINANCIAL) STATEMENTS

Lytneva N.A., Kyshtymova E.A.

Orel State Institute of Economy and Trade, Orel, e-mail: ogiet@orn.ru; ogiet@ogiet.ru

Development of accounting and analytical systems, reform of the accounting (financial) statements lead to the need for improved assessment and analysis of indicators, which are indicators of the functioning of business enterprises. These indicators include net assets that characterize the state of its own capital, its formation and use. The significance of net assets requires timely assessment, analysis of dynamic trends, availability of private capital, the impact factors of their forming with the use of modern analytical methods, computer programs and professional automated products. The development of methods for the assessment of the net assets of the demand analysis of solvency and financial stability of the organization, developing a promising strategy, as well as the needs of users interested in a stable and cost-effective it operation. Using indicators of the accounting (financial) statements of the commercial enterprise can analyze the state of the net assets of the reporting and the previous periods, to build a forecast for the near future. The use of forecasting techniques in the value of net assets will help to develop an effective economic policy of maximization of profit and the accumulation of private capital.

Keywords: net assets, statements, equity, arrived, analysis, forecasting, solvency, financial stability

Для оценки финансового состояния коммерческих предприятий современные теория и практика экономического анализа выработали многочисленные критерии, среди них важное место отводится показателю чистых активов, которые ряд экономистов считают реальным собственным капиталом. Основным источником информации для оценки чистых активов является бухгалтерская (финансовая) отчетность, в частности бухгалтерский баланс, который содержит информацию по имущественному положению организации и составе обязательств на конкретную отчетную дату [1].

Необходимость оценки чистых активов определена пунктом 4 ст. 90 Гражданского кодекса, который обязывает коммерческие предприятия отслеживать этот показатель ежегодно. Содержание этого документа определяет следующее правило: стоимость чистых активов по окончании двух финансовых лет подряд не может быть меньше уставного капитала общества. В противном случае предприятие в порядке и в сроки, установленные соответствующими законами, обязано увеличить чистые активы до размера уставного капитала или зарегистрировать в установленном порядке уменьшение уставного капитала, то есть внести изменения в учредительные документы. Если же стоимость чистых активов становится меньше минимального размера уставного капитала, определенного законом, предприятие и вовсе подлежит ликвидации [11].

Например, п. 4 ст. 30 Закона № 14-ФЗ «Об обществах с ограниченной ответственностью» предписывает обществу в случае, если по окончании трех финансовых лет подряд стоимость его чистых активов меньше уставного капитала, принять одно из следующих решений: об уменьшении уставного капитала до размера, не превышающего стоимости его чистых активов; о ликвидации общества [9]. Такое решение должно быть принято не позднее чем через шесть месяцев после окончания соответствующего финансового года.

При расчете чистых активов коммерческие организации руководствуются Порядком определения стоимости чистых активов, утвержденным Приказом Минфина России от 28.08.2014 № 84н, положения которого распространяются на отчетность за 2014 год [10]. В соответствии с установленным порядком расчет чистых активов должен осуществляться при составлении бухгалтерской (финансовой) отчетности акционерными обществами, обществами с ограниченной ответственностью, государственными унитарными предприятиями, муниципальными унитарными предприятиями, производственными кооперативами, жилищными накопительными кооперативами, хозяйственными партнерствами, организаторами азартных игр [2].

Чистые активы – это разность между суммами активов организации, принимаемыми к расчету, и ее обязательствами, принимаемыми к расчету (рис. 1). При расчете показателя чистых активов активы и обязательства принимаются к расчету по стоимости, подлежащей отражению в бухгалтерском балансе организации (в нетто-оценке за вычетом регулирующих величин) исходя из правил оценки соответствующих статей бухгалтерского баланса [6, 7].

Для оценки чистых активов коммерческих организаций нами рекомендована методика анализа, которая предусматривает определенную последовательность взаимосвязанных процедур:

– определение состава активов и обязательств предприятия, принимаемых к расчету и их сравнительная характеристика по данным бухгалтерского баланса на начало и конец отчетного периода;

– расчет чистых активов, определение достаточности собственного капитала для их покрытия;

– исследование динамики чистых активов в целях определения тенденций их изменения за определенный период;

– анализ влияния факторов на величину чистых активов коммерческого предприятия;

– прогнозирование стоимости чистых активов на заданный перспективный период;

– разработка управленческих решений по регулированию чистых активов и элементов, их формирующих.

В целях апробации предложенной методики для оценки чистых активов и построения прогнозной модели использован автоматизированный программный продукт «Альт-Финансы», который на основе исследования динамических тенденций показателей активов и обязательств, принимаемых к расчету, строит прогнозные тренды на заданную перспективу. Входными данными послужила информация бухгалтерской финансовой отчетности исследуемого предприятия ООО «Теплогазсервис» за 2012–2013 гг. (табл. 1).

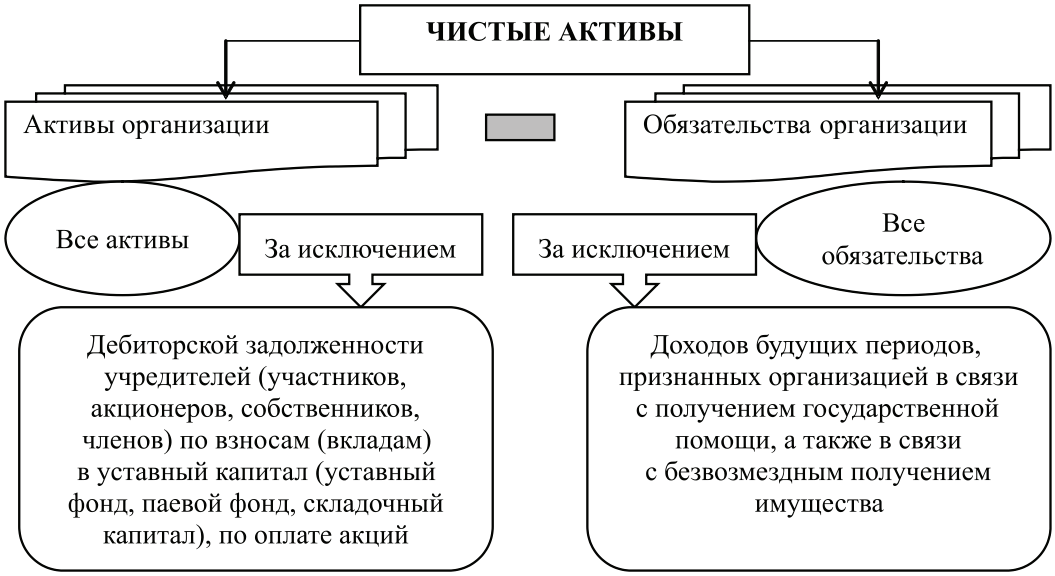


Рис. 1. Расчет стоимости чистых активов коммерческих предприятий по данным бухгалтерской (финансовой) отчетности

Таблица 1

Активы и обязательства, принимаемые
в расчет чистых активов ООО «Теплогазсервис» за 2012–2013 гг.

Показатели баланса	01.01.2013, тыс. руб.	01.01.2014, тыс. руб.	Отклонение, тыс. руб.	Темп роста, %
Запасы	940	760	–180	80,9
Дебиторская задолженность	8 540	7 210	–1330	74,4
Денежные средства	234	193	–41	82,5
Итого активы	9 714	8 163	–1551	84,0
Заемные средства	850	–	–850	–
Займы и кредиты	1 200	593	–607	49,4
Кредиторская задолженность	622	24	–598	3,9
Прочие обязательства	756	–	–756	–
Итого обязательства	3428	617	–2811	18,0
Стоимость чистых активов	6286	7546	+1260	120,1

Данные таблицы свидетельствуют о снижении в отчетном году активов и обязательств, принимаемых в расчет чистых активов ООО «Теплогазсервис» по всем позициям бухгалтерского баланса.

Темпы снижения обязательств опережали темпы снижения активов, что положительно отразилось на стоимости чистых активов.

На рис. 2 представлено изменение чистых активов в отчетном году и состав элементов, формирующих стоимость чистых активов ООО «Теплогазсервис».

Следующим этапом методики анализа чистых активов является оценка обеспеченности их стоимости собственным капиталом предприятия, поскольку собственный капитал является важнейшей характеристикой финансового состояния компании. На конец анализируемого периода собственный капитал компании увеличился на 1 260 тыс. руб., доля в общем пассиве компании составляет 92,4 %, что соответствует 7 546 тыс. руб. в абсолютном выражении. Это может свидетельствовать о ухудшении финансовой устойчивости анализируемого предприятия, повышении финансовых рисков (табл. 2).

Основной составляющей собственного капитала на конец анализируемого периода является накопленный капитал (99,9 %), который отражает результаты деятельности предприятия. В 2013 году наблюдается рост накопленного капитала ООО «Теплогазсервис», что является положительной характеристикой его состояния. Предприятие зарабатывает больше, чем тратит.

Для оценки фактической величины собственного капитала на предмет достаточности или недостаточности выполнен расчет величины собственного капитала, необходимого для ООО «Теплогазсервис». Минимальная необходимая величина собственных средств определяется как величина, равная сумме внеоборотных активов, материальных запасов и незавершенного производства. Для данного предприятия необходимая величина собственного капитала на конец периода анализа составляет 760 тыс. руб. На конец анализируемого периода фактическая величина собственных средств превышает их необходимую величину. Риск возникновения недостатка собственных источников финансирования минимален.

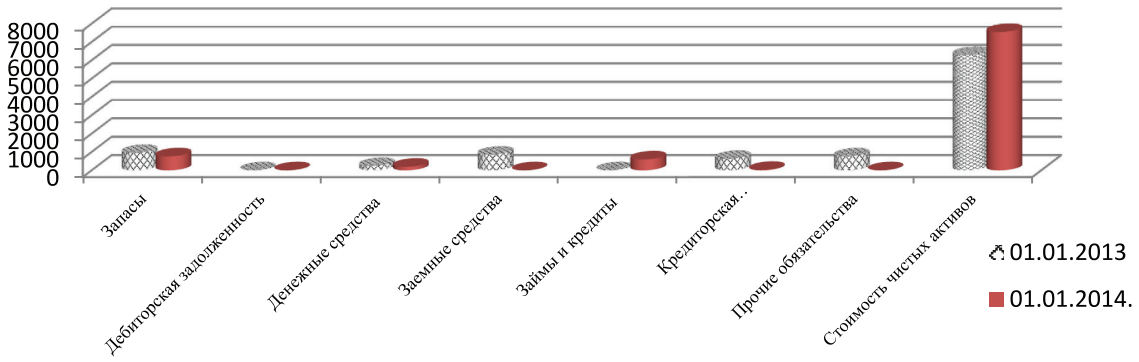


Рис. 2. Диаграмма элементов, формирующих стоимость чистых активов

Таблица 2

Оценка обеспеченности стоимости чистых активов ООО «Теплогазсервис» собственным капиталом

Показатели баланса	01.01.2013, тыс. руб.	01.01.2014, тыс. руб.	Отклонение, тыс. руб.	Темп роста, %
Уставный капитал	10	10	–	100,0
Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток (–))	6 276	7 536	+1260	120,1
Собственный капитал	6286	7546	+1260	120,1
Стоимость чистых активов	6286	7546	+1260	120,1

Таблица 3

Анализ эффективности использования чистых активов

Показатели	Условные обозначения	Прошлый год	Отчетный год	Отклонение	В % к прошлому году
Стоимость чистых активов, тыс. руб.	ЧА	6286	7546	+1260	120,1
Выручка от продажи, тыс. руб.	N	5 231	5 614	+383	107,3
Чистая прибыль, тыс. руб.	$Р_ч$	840	1 260	+420	150,0
Коэффициент оборачиваемости, оборотов	N/ЧА	0,63	0,74	+0,11	117,5
Коэффициент рентабельности	$Р_ч$/ЧА	0,14	0,17	+0,03	121,4

Сравнительная характеристика стоимости чистых активов и величины собственного капитала свидетельствует о их равенстве, что подтверждает обеспеченность чистых активов собственным капиталом предприятия. Сравнительный анализ стоимости чистых активов осуществляется и по отношению уставного капитала, для целей соблюдения законодательства. Как показал анализ, уставный капитал исследуемого предприятия составил 10 тыс. руб. и на протяжении отчетного периода не изменялся. В течение всего периода чистые активы превышали уставный капитал, что является положительной тенденцией.

Чистые активы необходимо также сопоставить с совокупным капиталом для определения реальной их динамики, поскольку рост чистых активов может оказаться несущественным по сравнению с ростом величины всего капитала [5].

Важным этапом анализа чистых активов является изучение эффективности их использования [8, 12], то есть оценка оборачиваемости и рентабельности (табл. 3).

Как видно из данных таблицы, темп роста среднегодовой стоимости чистых активов (120,1 %) выше темпов роста выручки от продажи (107,3 %), но ниже темпа роста чистой прибыли (150,0 %). Вследствие этого эффективность использования чистых активов возросла по сравнению с прошлым годом. Наблюдается ускорение их оборачиваемости и увеличение рентабельности.

Заключительным этапом методики оценки чистых активов является прогнозирование их стоимости, необходимой для разработки стратегии исследуемой организации [3, 4].

Для построения прогнозной модели входящими элементами могут быть приняты как абсолютные значения активов и обязательств, принимаемые в расчете чистых активов, так и показатели, характеризующие их эффективность использования, а также показатели, характеризующие финансовое состояние предприятия. Результаты реализации прогнозной модели на перспективный период в расчете на 5 лет представлены в табл. 4.

Данные табл. 3 свидетельствуют о положительной тенденции развития хозяйственной деятельности коммерческого предприятия. Поскольку по стоимости чистых активов наблюдается рост, который обеспечивают факторы, формирующие стоимость чистых активов. На рис. 3 график прогнозных значений наглядно подтверждает выявленную тенденцию.

Данные таблицы и рисунка свидетельствуют о росте стоимости чистых активов в ближайшей перспективе. Основными факторами, которые положительно повлияют на рост чистых активов, являются: увеличение стоимости активов, рост выручки, чистой прибыли, чистого оборотного капитала, что с положительной стороны характеризует стратегию хозяйственной деятельности коммерческого предприятия.

Таблица 4

Результаты реализации прогнозной модели
по оценке чистых активов ООО «Теплогазсервис»

Наименования позиций	Ед. изм.	Даты							
		01.01.2012	01.01.2013	01.01.2014	01.01.2015	01.01.2016	01.01.2017	01.01.2018	01.01.2019
Всего активов	тыс. руб.	7 656	9 714	8 163	9 437	10 797	12 244	13 778	15 397
Текущие активы	тыс. руб.	7 656	9 714	8 163	9 437	10 797	12 244	13 778	15 397
Выручка от реализации	тыс. руб.	4 846	5 231	5 614	5 998	6 382	6 766	7 150	7 534
Чистая прибыль	тыс. руб.	735	840	1 260	1 272	1 359	1 445	1 532	1 618
Стоимость чистых активов	тыс. руб.	5 326	6 286	7 546	8 818	10 177	11 622	13 154	14 772
Чистый оборотный капитал	тыс. руб.	6 246	7 136	7 546	8 818	10 177	11 622	13 154	14 772
Рентабельность всего капитала	%	11%	11%	15%	15%	14%	13%	12%	12%
Рентабельность собственного капитала	%	14%	14%	18%	16%	14%	13%	12%	12%

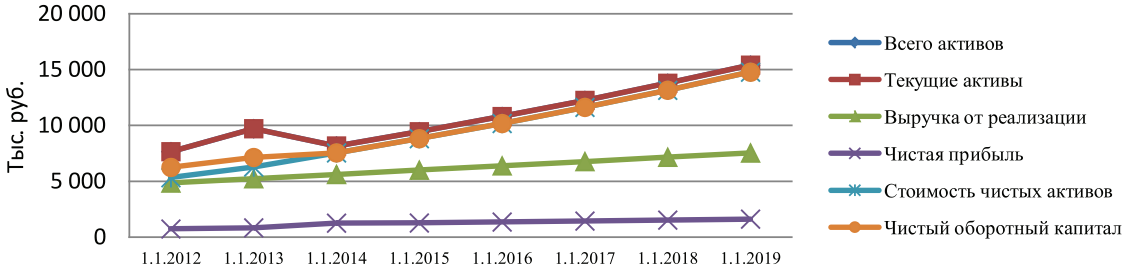


Рис. 3. Прогнозные показатели чистых активов и факторов, влияющих на их стоимость

По результатам проведенного исследования следует отметить, что применение предложенной методики оценки и прогнозирования чистых активов по данным бухгалтерской (финансовой) отчетности с применением компьютерных технологий позволит осуществлять контроль обеспеченности чистых активов собственным капиталом, своевременно принимать управленческие решения по их регулированию и разработке стратегии развития деятельности коммерческого предприятия.

Список литературы

1. Бухгалтерский финансовый учет: учебное пособие / Н.А. Лытнева и др. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА, 2009. – С. 656.

2. Годовой отчет. Актуальные вопросы бухгалтерского учета и налогообложения – 2014 / под общ. ред. Ю.А. Васильева. – «Солярис», 2014. КонсультантПлюс: www.consultant.orel.ru.

3. Кыштымова Е.А., Лытнева Н.А. Концепция развития учетного обеспечения управления прибылью предприятий малого бизнеса в АПК // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – № 3(36). – С. 46–51.

4. Кыштымова, Е.А., Лытнева, Н.А. Прибыль как основной фактор эффективности региональной экономики: монография. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2010. – 212 с.

5. Лытнева Н.А. Стратегические аспекты концепции экономического анализа в управлении собственным капиталом организации: коллективная монография / Н.А. Лытнева, О.В. Губина, В.Е. Губин. – Орел: ОрелГИЭТ, 2010.

6. Лытнева Н.А. Управление капиталом: Современные концепции методологии учетного обеспечения / Н.А. Лытнева, Е.А. Кыштымова, Н.В. Акимова. – Орел: Орловский гос. аграрный ун-т, 2009.

7. Лытнева Н.А., Кыштымова Е.А. Инвентаризация уставного капитала организации // Аудиторские ведомости. – 2008. – № 7. – С. 69–78.

8. Об обществах с ограниченной ответственностью. Федеральный закон от 08.02.1998 № 14-ФЗ (ред. от 05.05.2014) / КонсультантПлюс: www.consultant.orel.ru.

9. Об утверждении Порядка определения стоимости чистых активов. Приказ Минфина России от 28.08.2014 № 84н / КонсультантПлюс: www.consultant.orel.ru.

10. Рогозина О. Новый порядок для расчета чистых активов // Экспресс-бухгалтерия: информационный бюллетень. – 2014. – № 47. – С. 13–15.

11. Сысоева О.Н., Лытнева Н.А. Исследование стратегического управления прибылью в инновационной среде // Вестник ОрелГИЭТ. – 2012. – № 4 (22). – С. 37а-41.

References

1. Buhgalterskij finansovyj uchet: uchebnoe posobie / N.A. Lytneva i dr. M.: ID «Forum»: INFRA, 2009. pp. 656.

2. Godovoj otchet. Aktual'nye voprosy buhgalterskogo ucheta i nalogooblozhenija – 2014 / pod obshh. red.

3. Ju.A. Vasil'eva. «Soljaris», 2014. Konsul'tantPljus: www.consultant.orel.ru.

4. Kyshtymova E.A., Lytneva N.A. Koncepcija razvitija uchetnogo obespechenija upravlenija pribyl'ju predprijatij malogo biznesa v APK // Vestnik OrelGAU. 2012. no. 3(36). pp. 46–51.

5. Kyshtymova, E.A., Lytneva, N.A. Pribyl' kak osnovnoj faktor jeffektivnosti regional'noj jekonomiki: monografija. – Orel: Izd-vo OrelGAU, 2010. 212 p.

6. Lytneva N.A. Strategicheskie aspekty koncepcii jekonomicheskogo analiza v upravlenii sobstvennym kapitalom organizacii: kollektivnaja monografija / N.A. Lytneva, O.V. Gubina, V.E. Gubin. – Orel: OrelGIJeT, 2010.

7. Lytneva N.A. Upravlenie kapitalom: Sovremennye koncepcii metodologii uchetnogo obespechenija / N.A. Lytneva, E.A. Kyshtymova, N.V. Akimova. Orel: Orlovskij gos. agrarnyj un-t, 2009.

8. Lytneva N.A., Kyshtymova E.A. Inventarizacija ustavnogo kapitala organizacii // Auditorskie vedomosti. 2008. no. 7. pp. 69–78.

9. Ob obshhestvah s ogranichennoj otvetstvennost'ju. Federal'nyj zakon ot 08.02.1998 no. 14-FZ (red. ot 05.05.2014) / Konsul'tantPljus: www.consultant.orel.ru.

10. Ob utverzhdenii Porjadka opredelenija stoimosti chistyh aktivov. Prikaz Minfina Rossii ot 28.08.2014 no. 84n / Konsul'tantPljus: www.consultant.orel.ru.

11. Rogozina O. Novyj porjadok dlja rascheta chistyh aktivov // Jekspress-buhgalterija: informacionnyj bjulleten'. 2014. no. 47. pp. 13–15.

12. Sysoeva O.N., Lytneva N.A. Issledovanie strategicheskogo upravlenija pribyl'ju v innovacionnoj srede // Vestnik OrelGIJeT. 2012. no. 4 (22). p. 37a-41.

Рецензенты:

Галкина Е.В., д.э.н., профессор кафедры «Бухгалтерский учет, анализ и аудит», ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», г. Орёл;

Шапорова О.А., д.э.н., профессор, декан факультета учета и информационных технологий, ФГБОУ ВПО «Орловский государственный институт экономики и торговли», г. Орёл.

Работа поступила в редакцию 24.02.2015.

УДК 338.62

СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОДУКТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Мирзаянов Ф.Ф.

ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Ижевск, e-mail: mff@tizh.ru

Задача настоящей публикации логично вытекает из актуальной научной дискуссии об эволюции системы обращения отходов, результатом которой является тезис о возрастании роли вторичного сырья в производственных циклах обрабатывающей промышленности. Автором выделено одиннадцать современных направлений переработки вторичных ресурсов, отражающих потенциал современных инновационных промышленных технологий, формирующих базу для создания соответствующих профильных промышленных комплексов. Сформулировано условие рыночной привлекательности продуктов вторичной переработки, ее конкурентный потенциал по отношению к рынкам первичного сырья – кастомизация. Приведенные примеры сформулированы в процессе исследования автором лучших современных технологических практик переработки вторичных ресурсов, как материальных, так и энергетических (биогаз). Они демонстрируют тезис о том, что на каждом историческом этапе существует спектр промышленных технологий, обеспечивающих определенную глубину переработки.

Ключевые слова: промышленность, промышленная переработка, инновационные технологии, вторичные ресурсы, кастомизация

MODERN INNOVATIVE TECHNOLOGY AND PRODUCTS OF INDUSTRIAL PROCESSING OF SECONDARY RESOURCES

Mirzayanov F.F.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kalashnikov Izhevsk State Technical University», Izhevsk, e-mail: mff@tizh.ru

The task of the present publication logically follows from actual scientific discussion about evolution of system of the address of waste which the thesis about increase of a role of secondary raw materials in production cycles of manufacturing industry is result. Publication allocated 11 modern directions of processing of secondary resources, reflecting the potential of modern industrial technology innovation. To formulate the conditions of the market appeal of the product recycling, its competitive potential in relation to the market of primary raw materials – customization. The given examples are formulated in the course of research by the author of the best modern technological the practician of processing of secondary resources, both material, and power (biogas). They show the thesis that at each historical stage there is a range of the industrial technologies providing a certain depth of processing.

Keywords: industry, secondary resources, innovative technologies, industrial processing, customization

Задача настоящей публикации логично вытекает из актуальной научной дискуссии об эволюции системы обращения отходов, результатом которой является тезис о возрастании роли вторичного сырья в производственных циклах обрабатывающей промышленности [12]. Вторичная переработка, рециклинг – функция профильного сегмента промышленности, определение границ которого является одной из актуальных научных задач. Под границами сегмента подразумевается оценка перспективных направлений вторичной переработки – экономически эффективных видов вторичного сырья. Выбор в качестве критерия экономической эффективности обусловлен базовой характеристикой современной системы вторичного обращения – рыночных механизмов отношений переработчиков и потребителей вторичного сырья. То есть требуется выделить перспективные с экономической позиции направления вторичной переработки профили деятельности формируемых промышленных комплексов.

Как известно, все виды отходов производства и потребления имеют потенциал вторичного использования. «…Объективен теоретический тезис … 100 % отходов может быть переработано во вторичное сырье» (Costanza R. [9]) – именно на этом тезисе строится доктрина «экономики замкнутого цикла». При этом возможность 100 %-й глубины переработки ограничена доступностью производственных технологий и оборудования сбора, разделения смешанных отходов на фракции и их подготовку (сушка, обеззараживание, пакетирование и т.п.). К сожалению, в настоящее время более 50 % вторичного сырья собирается в смешанном виде (табл. 1), и это показатель для стран, в которых реализован механизм «раздельного сбора отходов

производства и потребления». Механизм подразумевает «ручную» сортировку отходов производства и потребления отходообразователем, мотивированную снижением тарифа за вывоз отсортированных фракций [13]. При отсутствии таких механизмов (например, в Российской Федерации) смешанные отходы составляют 90 % системы обращения вторичных ресурсов. На сегодняшний день ученые не видят перспективу снижения доли смешанных отходов, многие [1] полагают 50 % предельным значением сбора «условно чистых» вторичных фракций.

Таблица 1

Относительный объем раздельно собираемых фракций бытовых и промышленных отходов в Евросоюзе в рамках реализованного механизма «раздельного сбора отходов производства и потребления», 2013, [13]

Тип отходов	Доля
Смешанные отходы	55,7 %
Отходы бумаги и картона	13,4 %
Органические отходы	13,3 %
Отходы стекла	2,2 %
Отходы металла	0,5 %
Отходы древесины	3,1 %
Отходы пластика	0,8 %
Электроника	2,1 %
Другое	8,8 %

Усиление и глобализация конкуренции [5, 6, 7, 8, 9], изменение запросов покупателей приводит к существенному сокращению срока жизни продукции (периода времени от разработки до момента снятия продукта с производства) – с десяти до нескольких лет в среднем [10, с. 11]. Это приводит к возникновению инновационных организаций.

Из этого следует, что уровень «чистоты» вторичного сырья в перспективе будет определяться не совершенствованием способов раздельного сбора (по сути, организационно-экономическими механизмами), а наличием передовых, инновационных технологий сортировки и вторичной переработки.

Например, на сегодняшний день имеется практика сбора и переработки автомобильных шин с получением вторичных продуктов: резиновые гранулы, взрыв сети, тюки для дорожно-строительных работ, защитные резиновые бамперы (табл. 3). Но с химической точки зрения шина (ее резиновая часть) – это изопрен естественного (каучук) или искусственного происхождения – дефицитное сырье шинной промышленности. Современные технологии переработки изношенных шин не возвращают их к исходному, первичному сырью – природный или синтезированный из углеводородного сырья каучук, изопрен. Получается, что невозобновляемое сырье (каучук) в первичном цикле превращается в шины, а шины во вторичном цикле – (в основном) в продукты строительного назначения. Но американо-бразильская компания «Amyris» инвестировала в 2012 году значительные средства в НИОКР по тематике «Химическая переработка шин с получением искусственного каучука – изопрена». К 2020 году «Amyris» ожидает внедрение результатов НИОКР, что революционным образом может повлиять на рынки первичного и вторичного изопрена.

Второй пример, сырье целлюлозно-бумажной промышленности – макулатура, представляющая собой смесь бумаги и картона различного качества. Современные технологии переработки позволяют в лучшем случае получить вторичное сырье гигиенического назначения (салфетки, туалетная бумага и т.п.), а в худшем – использовать как топливо (RDF). Но в перспективе ожидается появление технологии сортировки смешанной макулатуры на различные по качеству сырья фракции (разработка компании «MSS», Нешвилл, США), что позволит сформировать потоки вторичного обращения в более широком спектре потребителей целлюлозно-бумажной промышленности.

Третий пример, изменение модели рециклинга транспортных средств – переход от американской модели утилизации автомобилей к европейской (Larane A. [11]). На втором этапе эволюции системы обращения доминировала, так называемая «американская» модель. В ее основе технология прессования (автомобиль полностью сдавливался прессом), резки и вторичной переработки с выделением черных металлов – листовая сталь. Все остальные материалы и фракции (59 %), присутствующие в отработанных транспортных средствах рассматривались как отходы переработки и передавались на полигоны как «мусор» после переплавки. Между тем, морфология вторичного сырья в транспортных средствах очень «богата», включает алюминий (7 %), цветные металлы (1,5 %) и органические компоненты (19 %) (табл. 2).

Таблица 2

Морфология вторичного сырья в транспортных средствах (Suomen Autokierrätys, [14])

Металл		Органические		Прочие	
Листовая сталь	41 %	Пластик	9,10 %	Стекло	2,80 %
Сталь	18 %	Резина	6 %	Жидкости	0,80 %
Чугун	7 %	Текстиль	0,90 %	Смешанные	1,90 %
Нержавеющая сталь	1 %	Клей, краски	3 %		
Алюминий	7 %				
Цинк, медь, свинец	1,50 %				
Итого	**75,50 %**	**Итого**	**19 %**	**Итого**	**5,50 %**

На современном этапе промышленной переработки принимаются «европейские» технологии переработки – позволяющие выделить до 80 % вторичного сырья. Финская компания «Kuusakoski Oy» разработала и внедрила комбинированную (ручная и автоматизированная) технологию, позволяющую разделить и вторично переработать (на 2013 год) 76 % весовых компонентов. Транспортное средство перерабатывается в 2 этапа: разделение компонентов (фракций) и их последующая профильная переработка. Существующая в Евросоюзе директива об ответственности производителя за утилизацию подразумевает выплату перерабатывающему предприятию фиксированного тарифа («экологического сбора») за каждое переработанное транспортное средство.

С учетом «экологического сбора» и реализации на рынке переработанного вторичного сырья рентабельность промышленного комплекса вторичной переработки финской компании «Kuusakoski Oy» составляет 9,2 %. Данный уровень рентабельности можно рассматривать как средний для европейской промышленности в сегменте первичной и вторичной переработки сырья.

Приведенные примеры сформулированы в процессе исследования автором лучших современных технологических практик переработки вторичных ресурсов, как материальных, так и энергетических (биогаз). Они демонстрируют тезис о том, что на каждом историческом этапе существует спектр промышленных технологий, обеспечивающих определенную глубину переработки. В исследовании автор основывался на публикациях отечественных ученых Л.М. Альбитера, С.Б. Смирнова, Ю.С. Баруздина, Р.Ф. Сагитова, Е.И. Кривенко, А.Р. Грошева, Ю.И. Реутова, А.Г. Ларионовой, С.П. Игнатьева, Р.Р. Гадлгареевой, А.В. Храмешина (и других), материалах «Overview of control mechanism for waste management in Finland – Research report F-4» [13], отчетах по европейской практике управления обращением с вторичными ресурсами [8, 10]. В итоге исследования технологического потенциала автором выделено 11 современных направлений переработки вторичных ресурсов (табл. 3), отражающих потенциал современных промышленных технологий.

Представленные в табл. 3 продукты вторичного использования описаны в формулировке производственной номенклатуры. Но промышленные комплексы вторичной переработки в силу малой производственной программы стремятся к «кастомизации» – приближению характеристик выпускаемых продуктов к ситуационным требованиям потребителей. С позиции производственного менеджмента такой подход также формулируется как «позаказной» метод организации. Он обеспечивает «…конъюнктурные преимущества по отношению к рынкам первичных сырьевых ресурсов» [15]. Кастомизация при вторичном производстве «…противопоставляется более низким ценам первичных ресурсов, достигаемых эффектом масштаба» [1]. Так, например, промышленный комплекс вторичной металлургической переработки «EKOKEM saastamme luonnonvaraja» (Финляндия, Куовола) формирует рыночное преимущество за счет выпуска малых серий алюминиевых сплавов с несерийными характеристиками под ситуационные потребности конкретного заказчика. Причем необходимые примеси и добавки для алюминиевого сплава с заданными свойствами комплекс получает также в результате переработки вторичного сырья. А часть энергии для работы металлургических печей вырабатывается на основе сжигания вторичных энергетических отходов (RDF). Другой пример – вариация цен на вторичное сырье – компост (табл. 4) по направлениям использования.

Таблица 3

Современные направления и продукты промышленной переработки вторичных ресурсов

Отходы	Продукты вторичного использования
Макулатура	Бумага вторичного использования, RDF (топливо самостоятельно и в смеси с другими фракциями)
Стекло	Строительные материалы, стекло как источник вторичного сырья профильных производств
Металлолом	Черный и цветной металл вторичного использования – металлургическое сырье
Химикаты: кислоты, щёлочи, органика	Компоненты химических процессов, производство удобрений и пестицидов
Нефтепродукты	Битум, строительные смеси, топливо
Электроника: изделия, платы, аккумуляторы, ртутные лампы, провод	Пластмассы, редкие и драгоценные металлы
Пластмассы	Пластмассы вторичного использования (сырье химической промышленности): полиэтилентерефталат; поливинилхлорид; полипропилен; полиэтилен низкого, высокого давления; полиэтиленовый воск; полиамиды; акрилонитрилбутадиенстирол; полистирол; поликарбонаты; полибутилентерефталат
Резина: шины, резиновые изделия	Резиновые гранулы, взрыв сети, тюки для дорожно-строительных работ, защитные резиновые бамперы
Биологические, органические (неопасные): пищевые отходы, и жиры, продукты ассенизации	Биогаз (энергетическое сырье), компост
Древесина: сучья, стружка, листья	RDF (топливо, самостоятельно или в смеси с другими фракциями)
Строительные: кирпич, бетон, смешанные	Вторичная строительная продукция (дорожное строительство, производство строительных материалов)

Таблица 4

Средние цены на компост в Евросоюзе по направлениям потребления, 2013, [13]

Направления использования	Цена (€/м^3)
Сельское хозяйство	0–3
Садоводство	5–20
Разбивка ландшафтов	10–20
Теплицы	20–40
Обогащение почвы	10–15
Винные сады и фрукты	1–6
Органическое сельское хозяйство	2–6
Рекультивация	0–4

Полигоны захоронения перерабатывают органические отходы в компост с различными технологическими циклами, добавками и биохимическими свойствами исходного сырья, что и определяет вариацию качества и цены вторичного продукта. Таким образом, именно кастомизация обеспечивает рыночную привлекательность продуктов вторичной переработки, ее конкурентный потенциал по отношению к рынкам первичного сырья.

Итак, сформулированные 11 направлений отражают современный технологический, инновационный потенциал переработки вторичного сырья, возможность создания соответствующих профильных промышленных комплексов.

Список литературы

1. Алексеев А.А. Переработка отходов – инновационный сегмент промышленности // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2014. – № 3. – С. 17–23.

2. Асаул А.Н. Высокотехнологический комплекс: определение экономического роста страны // Экономическое возрождение России. – 2008. – № 3. – С. 3–7.

3. Асаул А.Н., Мамедов Ш.М., Рыбнов Е.И., Чепаченко Н.В. Формирование конкурентного преимущества

субъектов предпринимательства в строительстве // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 10. – С. 123.

4. Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Караваева В.А. Ресурсосбережение как фактор устойчивого развития строительного предприятия // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 4–1. – С. 481–484.

5. Грахов В.П., Симакова У.Ф. Стратегия инновационного развития кафедры «промышленное и гражданское строительство» инженерно-строительного факультета ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2013. – № 3 (59). – С. 196–200.

6. Организация предпринимательской деятельности: учебник / А.Н. Асаул. – СПб.: АНО ИПЭВ, 2009. – 336 с.

7. Создание знания и информационной инфраструктуры субъектов предпринимательства / А.Н. Асаул, Е.И. Рыбнов, О.А. Егорова, Т.М. Левченко. – СПб.: АНО ИПЭВ, 2010. – 252 с.

8. Berninger K., Heikkilä L., Kolev Z., Orjala M., Teräväinen T. Waste management and recycling in Finland. – Conference Presentation, 2010.

9. Costanza R. Frontiers in Ecological Economics: Transdisciplinary Essays, USA, Vermont University, 1997.

10. International Yearbook of Industrial Statistics, 2012. – Vienna: UNIDO, 2012.

11. Larane A. Recycling is standard in French auto industry // World Wastes. – 1998. – T. 41. – № 1. – P. 8–10.

12. «Manifesto for a Resource Efficient Europe». European Commission. Retrieved 21 January 2013.

13. Research report «Overview of control mechanism for waste management in Finland» – ENPI project (SE500), Mikkeli University of Applied Sciences, Department of Energy and Environmental Technology, Finland, 2014.

14. Suomen Autokierrätys. Näin kierrätät autosi oikein, Mikkeli University, 2013.

15. Zhijun F., Nailing, Y. Putting a circular economy into practice in China. Sustain Sci 2:95–101, 2007.

References

1. Alekseev A.A. Pererabotka othodov innovacionnyi segment promyshlennosti // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo yekonomicheskogo universiteta. 2014. no. 3. pp. 17–23.

2. Asaul A.N. Vysokotehnologicheskii kompleks: opredelenie yekonomicheskogo rosta strany // Yekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2008. no. 3. pp. 3–7.

3. Asaul A.N. Formirovanie konkurentnogo preimushestva sub”ektov predprinimatel’stva v stroitel’stve / A.N. Asaul, S.M. Mamedov, E.I Rybnov., N.V. Chepachenko // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2014. no. 10. pp. 123.

4. Grahov V.P., Kisljakova Y.G., Karavaeva V.A. Resursosberezhenie kak faktor ustoichivogo razvitija stroitel’nogo predprijatija // Yekonomika i predprinimatel’stvo. 2014. no. 4–1. pp. 481–484.

5. Grahov V.P., Simakova U.F. Strategija innovacionnogo razvitija kafedry «promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel’stvo» inzhenerno-stroitel’nogo fakul’teta FGBOU VPO «IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova» // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2013. no. 3 (59). pp. 196–200.

6. Organizacija predprinimatel’skoi dejatel’nosti: uchebnik / A.N. Asaul. SPb.: ANO IPYeV, 2009. 336 p.

7. Sozdanie znanija i informacionnoi infrastruktury sub’ektov predprinimatel’stva / A.N. Asaul, E.I. Rybnov, O.A. Egorova, T.M. Levchenko. SPb: ANO IPYeV, 2010. 252 p.

8. Berninger K., Heikkilä L., Kolev Z., Orjala M., Teräväinen T. Waste management and recycling in Finland. Conference Presentation, 2010.

9. Costanza R. Frontiers in Ecological Economics: Transdisciplinary Essays, USA, Vermont University, 1997.

10. International Yearbook of Industrial Statistics, 2012. Vienna: UNIDO, 2012.

11. Larane A. Recycling is standard in French auto industry. World Wastes. 1998. T. 41. no. 1. pp. 8–10.

12. «Manifesto for a Resource Efficient Europe». European Commission. Retrieved 21 January 2013.

13. Research report «Overview of control mechanism for waste management in Finland» ENPI project (SE500), Mikkeli University of Applied Sciences, Department of Energy and Environmental Technology, Finland, 2014.

14. Suomen Autokierrätys. Näin kierrätät autosi oikein, Mikkeli University, 2013.

15. Zhijun F., Nailing, Y. Putting a circular economy into practice in China. Sustain Sci 2:95–101, 2007.

Рецензенты:

Асаул А.Н., д.э.н., профессор, АНО «Институт проблем экономического возрождения», г. Санкт-Петербург;

Иванов С.Н., д.э.н., профессор, действительный член Международной академии инвестиций и экономики строительства, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 02.03.2015.

УДК 657.633.5

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Мирошниченко Т.А., Зубарева О.А.

ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», Персиановский, e-mail: mirtatjana@mail.ru, zhorina.olga@rambler.ru

В настоящее время экономический сектор России претерпевает значительные сложности, в связи с чем необходимо максимально сократить внутренние и внешние риски, влияющие на деятельность коммерческих организаций. Внутренние риски зачастую связаны с недобросовестными действиями должностных и материально ответственных лиц, фактами мошенничества и подлога. Одним из наиболее целесообразных и эффективных механизмов в данном случае является внутренний контроль финансово-хозяйственной деятельности организации. В результате последних изменений российского законодательства организация внутреннего контроля стала неотъемлемой частью деятельности коммерческих организаций, поэтому в данной статье рассмотрены актуальные вопросы создания системы внутреннего контроля. В статье исследован порядок организации системы внутреннего контроля, выделены законодательные требования по вопросам проведения контроля в зависимости от организационно-правовой формы сельскохозяйственных организаций, представлены функции и задачи службы внутреннего контроля, предложены варианты организации службы внутреннего контроля.

Ключевые слова: внутренний контроль, сельскохозяйственные организации, служба внутреннего контроля, бухгалтерский учет

THE CREATION OF THE SYSTEM OF INTERNAL CONTROL IN AGRICULTURAL ORGANIZATIONS

Miroshnichenko T.A., Zubareva O.A.

Don State Agrarian University, Persianovsky, e-mail: mirtatjana@mail.ru, zhorina.olga@rambler.ru

The Russian economic sector is undergoing significant complexities, so it is necessary to minimize the internal and external risks which affect the operation of profit organizations. Internal risks are often associated with unfair actions and materially responsible persons, fraud and forgery. One of the most viable and effective mechanisms in this case is the internal control of financial and economic activities of the organization. The structure of internal control has become the essential part of profit organizations' operation as result of the latest changes in Russian legislation. So the article presents actual issues of internal control system creation. The author investigates the ways of internal control system organizing, outlines legislative requirements as for controlling depending on legal organizational forms of agricultural organizations, presents the functions and tasks of the internal control service, suggests the ways of Internal Control Service organizing.

Keywords: internal control, agricultural organizations, internal control, accounting

Последние события в экономике России в очередной раз подтверждают, что деятельность любой организации подвержена большому количеству внутренних и внешних рисков. Вместе с тем необходимо предпринимать всяческие усилия по снижению влияния этих рисков на работу хозяйствующих субъектов. Одним из эффективных механизмов такого воздействия остается внутренний контроль и бухгалтерский учет организации. В настоящее время, как показывает практика, бухгалтерский учет и внутренний контроль в сельскохозяйственных организациях не всегда организован должным образом. Имеются серьезные проблемы и в уровне подготовки кадров, и в качестве формирования учетной политики организации и других внутренних нормативных документов, регулирующих бухгалтерский учет и внутренний контроль. Становится очевидным, что независимо от рода и масштаба деятельности организации в фокусе внимания должна быть четко выстроенная, отлаженная, гибко и своевременно реагирующая на изменения система бухгалтерского учета (СБУ) и внутреннего контроля (СВК).

Необходимость создания эффективной системы внутреннего контроля во всех экономических субъектах подтверждается ст. 19 ФЗ «О бухгалтерском учете» № 402-ФЗ [1], согласно которой организация обязана организовывать и осуществлять внутренний контроль совершаемых фактов хозяйственной жизни. Кроме того, для тех организаций, чья бухгалтерская отчетность подлежит обязательному аудиту, существует требование обеспечить внутренний контроль ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской (финансовой) отчетности. Исключением является ситуация, когда руководитель организации самостоятельно ведет бухгалтерский учет. Однако в Федеральном законе № 402-ФЗ не указывается, как и в каком объеме должен

проводиться внутренний контроль, тем не менее ясно, что он должен быть достаточным для обеспечения достоверного отражения в учете фактов хозяйственной жизни, а также формирования бухгалтерской отчетности организации.

Необходимо отметить, что внутренний контроль по времени проведения может быть предварительный, текущий и последующий. Предварительный контроль направлен на исключение или предотвращение фактов хозяйственной жизни, которые неблагоприятно могли бы отразиться на финансовом благополучии организации или которые противоречат законодательству Российской Федерации.

Текущий контроль обеспечивает выполнение предписаний руководства экономического субъекта, сохранность имущества, соблюдение законов и нормативных актов РФ, предотвращает мошеннические действия и злоупотребления со стороны должностных и материально ответственных лиц и т.п.

Последующий контроль необходим для выявления фактов хозяйственной жизни, которые негативно повлияли на результаты деятельности организации и (или) достоверность данных, содержащихся в бухгалтерском учете и бухгалтерской (финансовой) отчетности.

В зависимости от организационно-правовой формы сельскохозяйственной организации органы, обеспечивающие внутренний контроль, установлены в соответствующих законах и предусматривают создание ревизионных комиссий (таблица).

Таким образом, основной целью проведения ревизии является проверка результатов финансово-хозяйственной деятельности организации, а также годовой бухгалтерской отчетности с учетом специфических особенностей каждой организационно-правовой формы. Кроме того, в каждом из вышеуказанных законодательных актов предусмотрено внезапное или внеочередное проведение ревизии по требованию соответствующих лиц. В обществах с ограниченной ответственностью и акционерных обществах для осуществления контроля над финансово-хозяйственной деятельностью данных организаций должны быть созданы ревизионные комиссии или назначены ревизоры.

Законодательные требования по вопросам проведения контроля в зависимости от организационно-правовой формы сельскохозяйственных организаций

№ п/п	Законодательный документ	Проверяющее лицо (орган)	Вид и форма контроля
1.	Ст. 85 Федерального закона «Об акционерных обществах» от 26.12.1995 № 208-ФЗ (ред. от 21.07.2014)	Ревизионная комиссия, ревизор	– текущие проверки по инициативе ревизоров, решению общего собрания акционеров, совета директоров (наблюдательного совета) общества или по требованию акционеров, обладающих в совокупности не менее чем 10% голосующих акций АО; – ревизия финансово-хозяйственной деятельности по итогам деятельности АО за год
2.	Ст. 47 Федерального закона «Об обществах с ограниченной ответственностью» от 08.02.1998 № 14-ФЗ (ред. от 05.05.2014)	Ревизионная комиссия, ревизор	– текущие проверки финансово-хозяйственной деятельности ООО; – обязательная проверка годовой бухгалтерской отчетности до ее утверждения
3.	Ст. 31, 32, 33 Федерального закона «О сельскохозяйственной кооперации» от 08.12.1995 № 193-ФЗ (ред. от 21.12.2013)	Ревизионный союз, ревизор-консультант	– последующая ревизия на предмет оценки достоверности бухгалтерской отчетности, соответствия порядка ведения бухгалтерского учета законодательству РФ, соблюдения законодательства РФ и положений устава кооператива, соблюдения принципов создания и деятельности кооперативов, на предмет выявления нарушений, ведущих к ухудшению результатов их финансово-хозяйственной деятельности или банкротству, фактов ущемления интересов членов СПК; – контроль за исполнением предписания об устранении выявленных нарушений и недостатков; – внеочередная ревизия по требованию правления СПК или его наблюдательного совета, союза кооперативов или группы лиц, составляющих одну десятую от числа членов СПК, членов союза кооперативов или одну третью от числа ассоциированных членов кооператива

Следует также отметить, что в сельскохозяйственных производственных кооперативах согласно Федеральному закону «О сельскохозяйственной кооперации» [4] ревизор может оказывать сопутствующие услуги, к числу которых относятся, например, постановка, восстановление и ведение бухгалтерского учета; консультирование по различным финансовым, правовым и экономическим вопросам; анализ финансово-хозяйственной деятельности, оценка стоимости имущества и другие. Оказание такого рода услуг является одним из гарантов того, что ревизоры, оказывающие их, будут соблюдать законы и нормативные документы РФ, предоставят наиболее приемлемый вариант решения сложных задач, возникающих в жизни кооператива, и составят достоверную бухгалтерскую отчетность.

Порядок организации внутреннего контроля предложен Минфином России в Информации № ПЗ-11/2013 «Организация и осуществление экономическим субъектом внутреннего контроля совершаемых фактов хозяйственной жизни, ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской (финансовой) отчетности». В данном документе приведены общие подходы к организации внутреннего контроля, а также описаны элементы внутреннего контроля и необходимые процедуры внутреннего контроля [7].

Каждой сельскохозяйственной организации целесообразно, руководствуясь законами и нормативными документами РФ, разработать и утвердить внутренний нормативный документ, регламентирующий организацию внутреннего контроля с учетом специфики и особенностей конкретной организации. Аналогичного мнения придерживаются авторы А.Н. Кизилов и Д.В. Богатый [6], которые утверждают, что концепция организации и дальнейшего развития внутреннего контроля должна быть отражена в концептуальных стандартах, которые дополняются и конкретизируются организационно-компетентностными стандартами, раскрывающими основные функции, права, обязанности подразделений, осуществляющих учетные и контрольные функции и работающих в них сотрудников.

Создавая систему внутреннего контроля, следует определить, кто будет осуществлять процедуры контроля в организации. На рис. 1 предложены варианты организации службы внутреннего контроля в сельскохозяйственных организациях.

Таким образом, на практике может быть несколько вариантов структуры самой службы внутреннего контроля. Для крупных и средних сельскохозяйственных организаций можно организовать отдельное структурное подразделение, так как у данных хозяйствующих субъектов достаточного много разнообразных и сложных объектов контроля. На малых предприятиях внутренний контроль может осуществлять отдельное должностное лицо или несколько должностных лиц. В этом случае обязанности по исполнению функций внутреннего контролера следует отразить в трудовых договорах и должностных инструкциях назначенных работников.

Служба внутреннего контроля сельскохозяйственных предприятий наряду со специалистами по проверке финансово-хозяйственной деятельности может включать и других специалистов (по правовым вопросам, по технологии производства продукции растениеводства и животноводства и т.д.).

Обеспечить внутренний контроль возможно также с помощью специализированной организации – аутсорсинговой компании, с которой необходимо заключить соответствующий договор на оказание такого рода услуг. Перечень функций и их объем будет определен в договоре на оказание услуг по осуществлению внутреннего контроля.

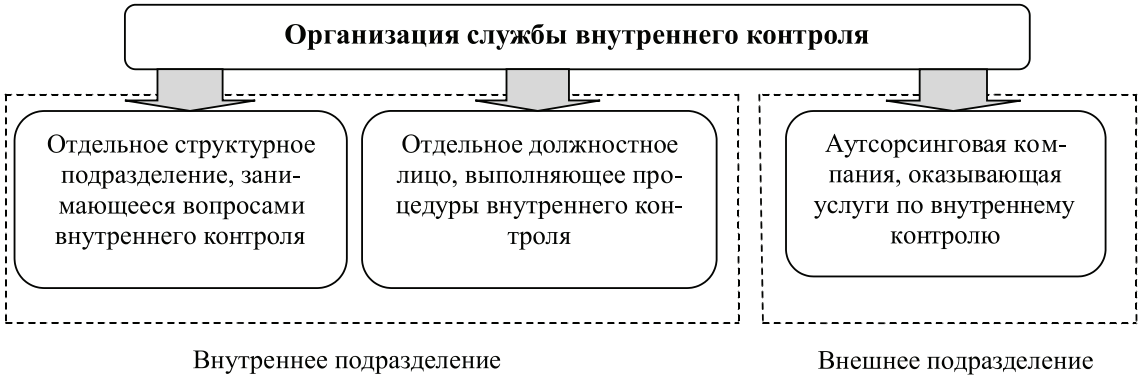


Рис. 1. Варианты создания службы внутреннего контроля в сельскохозяйственных организациях

Вместе с тем, как бы ни была организована служба внутреннего контроля, она должна решать основные задачи, стоящие перед ней (рис. 2).

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что внутренний контроль является эффективным инструментом управления сельскохозяйственной организацией,

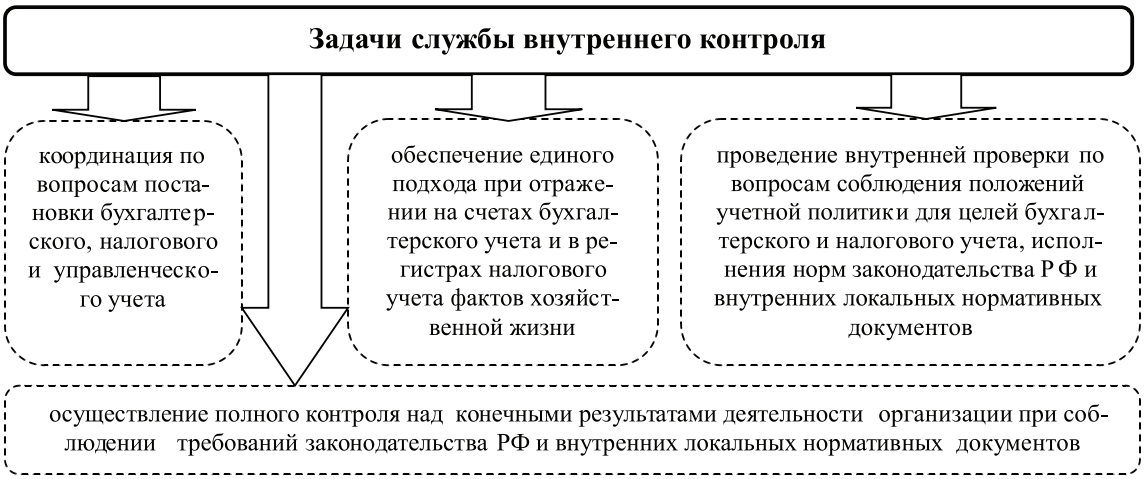


Рис. 2. Задачи службы внутреннего контроля

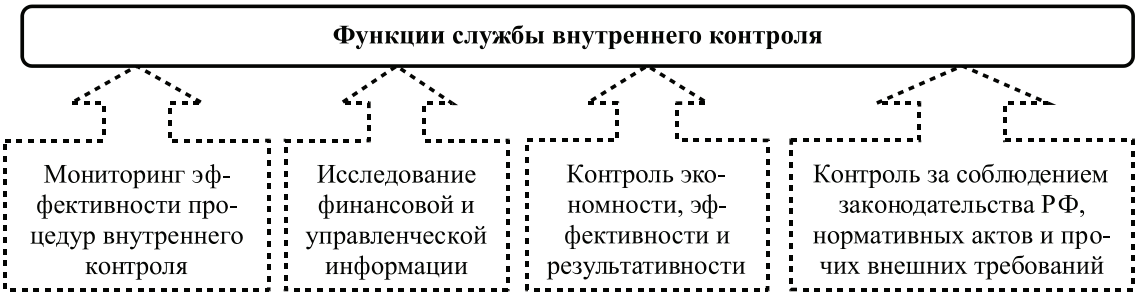


Рис. 3. Функции службы внутреннего контроля

Следует отметить, что объем и задачи внутреннего контроля могут различаться в зависимости от отраслевых особенностей проверяемой (контролируемой) организации, ее структуры и масштабов деятельности, а также требований руководства.

Функции службы внутреннего контроля указаны на рис. 3.

Для обеспечения эффективности системы внутреннего контроля требуется разграничить ответственность и полномочия сотрудников, осуществляющих контроль в организации таким образом, чтобы у отдельных лиц отсутствовали возможности нарушения требований контроля.

Созданную в организации систему внутреннего контроля необходимо постоянно оценивать с точки зрения её адекватности внутренним и внешним условиям деятельности организации и непрерывно совершенствовать с учетом обнаруженных в процессе её функционирования «узких мест».

который дает возможность обеспечить сохранность активов, правильность и достоверность записей на счетах бухгалтерского учета и в бухгалтерской (финансовой) отчетности, а также позволяет согласованно и эффективно осуществлять финансово-хозяйственную деятельность в соответствии с политикой руководства организации.

Список литературы

1. Федеральный закон «О бухгалтерском учете» от 6.12.2011 г. № 402-ФЗ (в ред. от 28.12.2013 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».

2. Федеральный закон «Об акционерных обществах» от 26.12.1995 № 208-ФЗ (ред. от 21.07.2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».

3. Федеральный закон «Об обществах с ограниченной ответственностью» от 08.02.1998 № 14-ФЗ (ред. от 05.05.2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».

4. Федеральный закон «О сельскохозяйственной кооперации» от 08.12.1995 № 193-ФЗ (ред. от 21.12.2013)

[Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».

5. Информация Минфина России № ПЗ-11/2013 «Организация и осуществление экономическим субъектом внутреннего контроля совершаемых фактов хозяйственной жизни, ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской (финансовой) отчетности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа СПС «КонсультантПлюс».

6. Кизилов А.Н., Богатый Д.В. Методические подходы к разработке концептуального стандарта «Политика в области системы внутреннего контроля» в коммерческих организациях [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – Режим доступа http://www.science-education.ru/113-11244.

7. Мирошниченко Т.А. Организация внутреннего контроля над инвестиционной деятельностью // Новая модель экономического роста: научно-теоретические проблемы и механизм реализации: материалы Международной научно-практической конференции 22-24 апреля 2014. – пос. Персиановский: Изд-во Донского ГАУ, 2014. – Т. 1. – С. 158–163.

References

1. Federal'nyj zakon «O buxgalterskom uchete» ot 6.12.2011 g. no. 402-FZ (v red. ot 28.12.2013 g.) [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa SPS «Konsul'tantPlyus».

2. Federal'nyj zakon «Ob akcionernyx obshhestvax» ot 26.12.1995 no. 208-FZ (red. ot 21.07.2014) [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa SPS «Konsul'tantPlyus».

3. Federal'nyj zakon «Ob obshhestvax s ogranichennoj otvetstvennost'yu» ot 08.02.1998 no. 14-FZ (red. ot 05.05.2014) [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa SPS «Konsul'tantPlyus».

4. Federal'nyj zakon «O sel'skoxozyajstvennoj kooperacii» ot 08.12.1995 no. 193-FZ (red. ot 21.12.2013) [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa SPS «Konsul'tantPlyus».

5. Informaciya Minfina Rossii no. PZ-11/2013 «Organizaciya i osushhestvlenie e'konomicheskim sub»ektom vnutrennego kontrolya sovershaemyx faktov xozyajstvennoj zhizni, vedeniya buxgalterskogo ucheta i sostavleniya buxgalterskoj (finansovoj) otchetnosti» [E'lektronnyj resurs]. Rezhim dostupa SPS «Konsul'tantPlyus».

6. Kizilov A.N., Bogatyj D.V. Metodicheskie podxody k razrabotke konceptual'nogo standarta «Politika v oblasti sistemy vnutrennego kontrolya» v kommercheskix organizaciyax [E'lektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2013. no. 6. Rezhim dostupa http://www.science-education.ru/113-11244.

7. Miroshnichenko T.A. Organizaciya vnutrennego kontrolya nad investicionnoj deyatel'nost'yu // Novaya model' e'konomicheskogo rosta: nauchno-teoreticheskie problemy i mexanizm realizacii: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 22–24 aprelya 2014. pos. Persianovskij: Izd-vo Donskogo GAU, 2014.- tom 1. pp. 158–163.

Рецензенты:

Удалова З.В., д.э.н., профессор кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита, ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», Ростовская область, Октябрьский район, пос. Персиановский;

Сапрыкина Н.В., д.э.н., профессор, зав. кафедрой теории экономики, менеджмента и права, ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», Ростовская область, Октябрьский район, пос. Персиановский.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 330.34

СИСТЕМНО-СИНЕРГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

[1]Морозова О.В., [2]Долгополова А.Ф.

[1]Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Калуга, e-mail: zo@klg.ranepa.ru;
[2]ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь, e-mail: inf@stgau.ru

Проведен анализ роли и места экономики России на макроуровне, в котором отчетливо прослеживаются узловые проблемы российской экономики как экономики сырьевой стагнации. Приведены позиции существующего положения России с позиции обеспечения продовольственного суверенитета страны. Структурирована проблематика восстановления и развития сельскохозяйственного производства как фундамента к достижению целевых показателей Доктрины продовольственной безопасности, которые в современных реалиях имеют опасность быть не исполненными. С позиции эффективности использования бюджетных средств определена проблемная зона несостоятельности мер государственной поддержки сельского хозяйства страны. Приоритетное место в структуре кластерного подхода к развитию сельского хозяйства отведено «взращиванию» собственных кадров, способных наращивать отсталые позиции производительности труда на селе. С позиции системно-синергического подхода определены приоритетные направления ускоренного развития сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, сельскохозяйственное производство, государственная поддержка, суверенитет, ВВП, реальный сектор экономики

SYSTEM-SYNERGISTIC APPROACH TO COUNTRY'S FOOD SECURITY

[1]Morozova O.V., [2]Dolgopolova A.F.

[1]Kaluga Branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Kaluga, e-mail: zo@klg.ranepa.ru;
[2]Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: inf@stgau.ru

The analysis of the role and place of the Russian economy at the macro level has been made, which has clearly shown the key problems of the Russian economy as raw material stagnation economy. The current position of Russia in terms of ensuring food sovereignity of the country has been demonstrated. The problematics of reconstruction and development of agricultural production has been stated as the foundation to acheive the target numbers for the Doctrine of food secutiry, which in today's realities are at risk not to be fulfilled. From the standpoint of efficiency of budgetary funds, the insolvency of state support measures of the agriculture of the country has been defined. The priority in the structure of the cluster approach to agriculture development is devoted to 'nurturing' own personnel capable of improving the underdevelopment of labor productivity in the countryside. Priority areas for the accelerated development of the agricultural production have been identified from the perspective of the system-synergistic approach.

Keywords: food security, agricultural production, state support, sovereignity, GDP, real economy sector

Россия за минувшее двадцатилетие трижды переживала кризисы, которые при симбиозе правильных управленческих решений государственных органов и бизнеса могли бы стать отправной точкой роста отечественной экономики. По словам директора Института стратегического анализа ФБК Игоря Николаева, – «кризис, который мы переживаем сейчас (2014 г.), – это необязательный кризис. И от этого грустно и досадно: мы вполне могли не оказаться в этой ситуации».

Ни для кого не секрет, что является «точкой невозврата» во всех трех случаях – падение цен на нефть. Экономисты страны приводят различные сценарии развития российской экономики на краткосрочную, среднесрочную перспективы. Долгосрочная перспектива сегодня уже не столь актуальна, поскольку имеет достаточно великую степень погрешности. Также существуют различные мнения о доле нефтедолларов в общем объеме ВВП, цифры варьируются от 18 до 52–54 %, но истина уже на определенном этапе стагнации экономики и не столь важна, если учитывать, что все мнения сходятся при этом в одном, выраженном далеко не в самых «интеллигентных» выражениях, – «сырьевая игла», «сырьевой придаток Запада».

Безусловно, для добывающей страны, с бюджетом, формирующимся в зависимости от цены на нефть, для России уровень мировых цен на «черное золото» является важным составным элементом бюджетной политики.

Положительной отличительной чертой выхода из кризиса 1998 года явилось то, что девальвация того периода произошла в преддверии длительного мирового цикла роста цен на нефть. Сегодня ситуация кардинально противоположна, притом с пессимистическим прогнозным сценарием в среднесрочной и долгосрочной перспективах.

В начале долгого глобального цикла «дешевения» углеводородов достаточно динамичный рост мировых цен в период с 2004 по 2011 гг. позволил нашей стране создать стабилизационный фонд и начать реализацию ряда социально значимых национальных приоритетных проектов (рис. 1).

Два кризиса (1998 и 2008 гг.), которые должны были стать точкой отсчета экономического роста, не мотивировали, к сожалению, государство и реальный сектор экономики страны обратить свой взор на развитие промышленности и сельского хозяйства с целью обеспечения суверенитета экономики страны [4].

Таковы реалии современной российской экономики, при этом нельзя забывать о том, что в современных условиях хозяйствования (по данным ООН) Россия производит всего 3% мирового производства зерна; 4% молока, порядка 1% овощей и фруктов, имея в основных средствах производства 1/7 части суши, 10% мировой пашни, 1/2 части всего мирового черноземья, а также 20% поливной пресной воды. При этом, усугубляет статистику и такой показатель, как доля России в мировом ВВП, который в 2000 году был равен всего 2,1%, (к примеру, в 1913 году в современных границах – 6,2%, в 1970 году – 8%). Никогда еще за несколько последних столетий Россия не имела таких низких показателей (рис. 2).

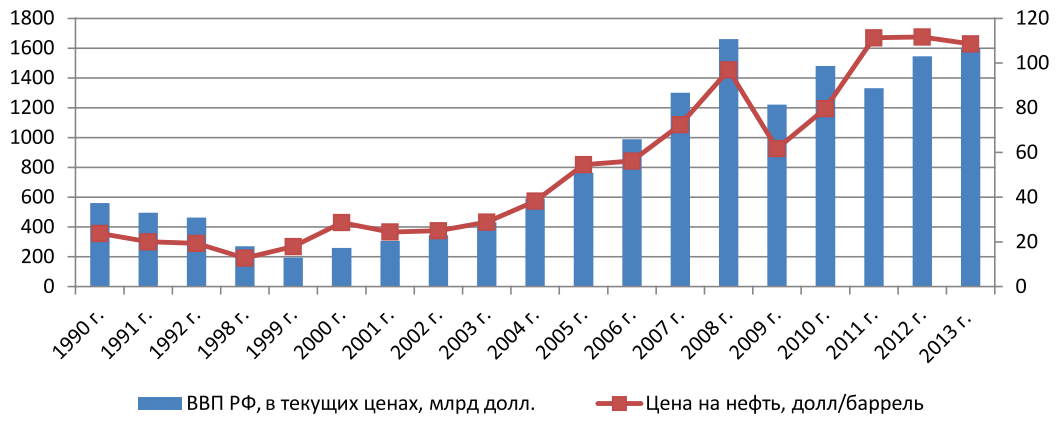


Рис. 1. Роль нефтегазового сектора в благосостоянии страны. Диаграмма составлена по данным Министерства финансов РФ (официальный сайт), Всемирного банка по среднегодовым курсам

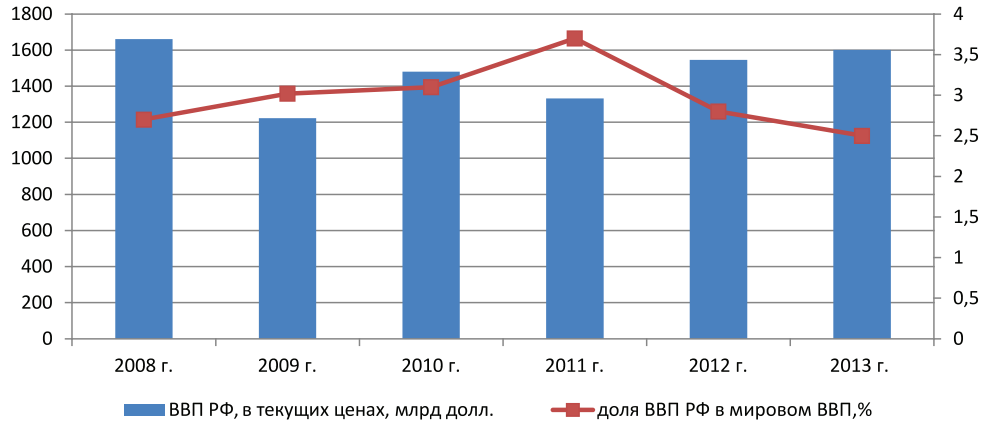


Рис. 2. «Экономическое участие» России в мировом ВВП. Источники: World Economic Outlook Database; World Development Indicators, 2013. GrossDomesticProduct, 2012// вебсайт исследования: www. worldbank.org/; Мировая экономика: глобальные тенденции за 100 лет. М.: Юрист, 2003

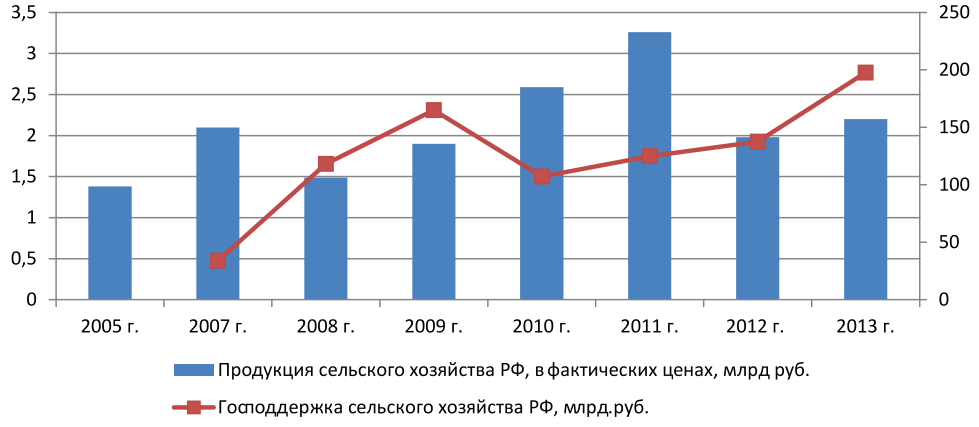


Рис. 3. Эффективность господдержки в производстве сельскохозяйственной продукции. Источники: РЦИТ (официальный сайт); Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2012 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 годы»// М., 2013. – МСХ РФ[2]

Безусловно, с такими показателями ни о какой эффективности сельского хозяйства страны речи идти не может. С российскими природно-климатическими, территориальными условиями и наращиваемой, начиная с 2006 года, капиталоемкой государственной поддержкой, сельское хозяйство страны к настоящему периоду снижает производственные показатели в фактических ценах, что, безусловно, сразу же сказывается в том числе и на потребительских ценах как составном элементе благосостояния среднестатистического россиянина (рис. 3).

Безусловно, «уникальность» настоящего кризиса, несомненно, в наличии санкций, о последствиях которых в период их введения никто из западных партнеров РФ, как показала практика, не задумывался. Тем не менее, по мнению министра сельского хозяйства Н.В. Федорова, подобные действия со стороны мировых партнеров сыграли на руку российскому крестьянину. Хочется верить в позитивный прогноз на основании слов сельскохозяйственного министра, который вскоре будет либо подтвержден, либо опровергнут экономическими показателями отчета за соответствующий год новой долгосрочной Госпрограммы.

Однако следует отметить, что Минэкономразвития России, не изменяя за десятилетие прогнозному отношению к сельскохозяйственному производству, по-прежнему, строит инерционный прогноз с затухающим ростом сельхозпроизводства, невзирая при этом на «объёмную по финансам и масштабную по мероприятиям государственную программу развития сельского хозяйства» [4].

Таким образом, вследствие ряда произошедших событий, безусловным приоритетом становится во главу угла цель, которая «набрала бонусы» в момент дополнительной политической нагрузки в лице санкций западных партнеров, а именно – обеспечить продовольственную суверенность государства, а это означает – взять направление на ускоренное развитие сельского хозяйства.

Кроме того, с момента опубликования обзорной статьи по молочному продовольственному сектору [2] ситуация претерпела изменения в сторону негативной тенденции. А именно, поскольку Белоруссия перешла с нами на валютный расчет поставки продовольственной продукции, потребительская цена, в частности на молочную продукцию, возросла в среднем от 30 % до 40 % в зависимости от наименования. В связи с этим, так как доля молочной продукции республики Беларусь в молочном сегменте продовольственного рынка занимает внушительный объем, молочной индустрии нашей страны необходимо и этот показатель ввести в недостающую позицию по производству молока.

На основании вышеизложенного и анализа динамики развития мирового продовольственного рынка, можно с уверенностью констатировать – путь к суверенитету продовольственной безопасности один: восстановление и динамичное развитие сельскохозяйственного производства.

Цикл многофакторный, и решать поставленную задачу – обеспечение продовольственной безопасности страны – возможно только лишь совместными усилиями органов государственной власти, банковского сектора и системы образования (рис. 4), которая претерпела за прошедшие десятилетия глобальные изменения, приведшие, по сути, к выпускникам, не желающим трудиться в реальном секторе экономики.

Рис. 4. Кластерное развитие сельскохозяйственного производства

В не столь отдаленном прошлом, а именно в послании 2012 года, Президент заявил, что «резервы сырьевой модели исчерпаны, тогда как интересы развития России требуют ежегодного роста не менее 5–6 % ВВП в ближайшее десятилетие». Именно тогда впервые официально было признано, что отправной точкой проблем в российской экономике являются не кризисные явления в мировой экономике, «носят не внешний, а внутренний характер» и, безусловно, в первую очередь связаны с производительностью труда.

Отличительная негативная реальность настоящего кризиса, несомненно, состоит еще и в том, что сегодня уже нет тех самых советских мощностей и подготовленных кадров, что еще сохранялись в 1998 г. Возникает закономерный вопрос, который усиливается санкционным негативом кризиса 2014 года: как в таких условиях замещать импорт? Именно поэтому особое внимание, на наш взгляд, следует уделить системе «взращивания целевых кадров» для реального сектора экономики. Дефицитный российский бюджет тратит колоссальные средства на высшее образование собственных граждан. При этом только малая доля выпускников трудится, в профессиональной среде получаемого образования. Какова же в итоге эффективность вложенного в профессиональное образование «рубля»? Безусловно, это емкая тема отдельного исследования, результаты которого только лишь усугубят понимание произошедших за последнее двадцатилетие образовательных реформ. На бюджетные специальности, в частности экономических направлений, поступают совершенно случайные люди, которые по тем или иным соображениям не смогли определиться с приоритетностью профессионального приложения своих способностей и тем самым занимают целевые места выпускников, которые желали бы идти по профессии.

Второй важный аспект кластерного развития сельскохозяйственного производства, несомненно, принадлежит системе кредитования, поскольку в новых условиях хозяйствования можно констатировать, что без совершенной системы кредитования, что в очередной раз подтвердила экономическая ситуация страны в кризисных условиях, процесс развития очень быстро сменится на процесс стагнации и упадка. Настоящее страны показало, что сельскохозяйственные предприятия закредитованы настолько, что их выручка не перекрывает платежи по кредитам. В таких условиях ни о каком развитии производства речи идти просто не может.

Третий структурный элемент развития сельскохозяйственного производства – государственная поддержка, начавшая свое шествие с 2006 года, которая, как показал отчет Счетной палаты РФ по направлению эффективности использования средств федерального бюджета на реализацию Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 гг., оказалась несостоятельной, и, как следствие, потраченные

практически впустую более 600 млрд рублей не столько помогли сельхозтоваропроизводителю, сколько усугубили его и так закредитованную историю. О чем это может говорить? Безусловно, возвращаемся к вопросу о несостоятельности кадров, теперь уже сельскохозяйственного ведомства, которые, как показала практика, совершенно далеки от реального сектора экономики[1].

В этой связи хочется отметить, что заявленное как целеполагание на среднесрочную перспективу повышение производительности труда в 1,5 раза к 2018 г. (по сравнению с уровнем 2011 г.) заложенное в том же майском указе Президента, о котором уже мы упоминали выше, – «О долгосрочной государственной экономической политике» – возможно лишь только при наличии в стране:

а) высокого качества профессионального образования («кадры решают все…»), что в современных российских реалиях пока невыполнимо без структурных изменений, частично возвращения «в хорошо забытое прошлое»;

б) благоприятного инвестиционного климата (синергия государства и агробизнеса);

в) а также развития современного отечественного машиностроения и высокотехнологичного оборудования.

Наукоемкие технологии, увы, один из самых болезненных аспектов кластерного подхода. Этот структурный элемент является симбиозом всех остальных элементов, без совершенствования которых достичь высокого уровня развития отечественного машиностроения не удастся. Ни для кого не секрет, что крупные и отчасти средние сельскохозяйственные предприятия оснащены импортным оборудованием, которое, безусловно, по всем техническим характеристикам не имеет российских аналогов. При этом имеют в своем арсенале «якоря» в виде валютных договоров обслуживания, которые в настоящее время являются одной из емких статей удорожания конечной продукции продовольственного сегмента рынка.

Исходя из вышеизложенных реалий современной российской экономики, можно сделать вывод, что, во-первых, необходимо растить новое поколение будущих профессионалов, структурно пересмотрев реформы образования разных уровней, начиная от начальной школы и заканчивая мотивированным, осознанным выбором профессии; во-вторых, исключить попадание случайных людей в отраслевые государственные органы, при этом привлекать к ответственности лиц, ответственных за неэффективное использование бюджетных средств; в-третьих, усовершенствовать систему кредитования, используя положительный мировой опыт; в-четвертых, обратить особое внимание на наукоемкие технологии, развитие которых, по сути, и является показателем развития экономики страны.

Только подобный планомерный симбиоз векторов развития способен дать толчок восстановлению экономики страны.

[1] «Из девяти целевых показателей госпрограммы был выполнен только один – «располагаемые ресурсы домашних хозяйств в сельской местности». Его выполнение составило 116,8%. Все остальные показатели, характеризующие динамику развития отрасли, не были достигнуты, несмотря на то, что госпрограмма была профинансирована на 118,4% (фактическое финансирование составило 653 млрд руб. вместо запланированных 551,3 млрд руб.). «В целом реализацию госпрограммы 2008–2012 гг. нельзя назвать успешной, поскольку достигнуто только 60% установленных показателей», – отметил в своем докладе аудитор Бато-Жаргал Жамбалнимбуев.

Список литературы

1. Долгополова А.Ф., Морозова О.В. Применение Марковских процессов при решении социально-экономических задач // Российский экономический интернет-журнал. – 2009. – № 1. – С. 236–24.

2. Морозова О.В., Долгополова А.Ф. Перспективы развития молочного рынка России в условиях экономических санкций // Управление экономическими системами. Отраслевая экономика. – 2014/11. – № 71.

3. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2012 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 годы». – М., 2013. – МСХ РФ.

4. Николаев И.А., Марченко Т.Е., Точилкина О.С. Сколько стоит Россия: 10 лет спустя. Раздел 3. Сельское хозяйство. – М., 2014. – ФБК. – С. 5–6.

5. Тютин Д.В. Маркетинг взаимоотношений и менеджмент публичных ценностей в системе нового государственного управления // В мире научных открытий. Социально-гуманитарные науки. – 2014. – № 5.2 (53).

References

1. Dolgopolova A.F., Morozova O.V. Rossiiskii ekonomicheskii internet-zhurnal, 2009, no. 1, pp. 236–24.

2. Morozova O.V., Dolgopolova A.F. Electronnyi nauchnyi zhurnal ‘Upravleniye ekonomicheskimi sistemami. Otraslevaia ekonomika,2014, no. 11, pp. 71.

3. Natsionalnyi doklad ‘O hode i rezultatah realizatsii v 2012 godu Gosudarstvennoi programmy razvitiya sel’skogo hoziaistva i regulirovaniya rynkov sel’skohoziaistvennoi produktsii, syr’a i prodovolstvia na 2008–2012 gody’. Moscow, 2013, MSKH RF.

4. Nikolaev I.A., Marchenko T.E., Tochilkina O.S. Razdel 3. Sel’skoe hoziaistvo. Moscow, 2014, FBK, pp. 5–6.

5. Tutin D.V. Nauchnyi zhurnal ‘V mire nauchnyh otkrytii. Sotsial’no-gumanitarnye nauki’, 2014, no. 5.2 (53).

Рецензенты:

Скляров И.Ю., д.э.н., профессор кафедры «Экономический анализ и аудит», ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь;

Гурнович Т.Г., д.э.н., профессор кафедры «Финансовый менеджмент и банковское дело», ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 658.5.001.71

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ

Околелова Э.Ю., Корницкая О.В.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, Воронеж, e-mail: ella_ok16@mail.ru, mill_mell@list.ru

В статье рассмотрены инновационные бизнес-процессы строительного предприятия и предложена система управления, ориентированная на взаимосвязь всех элементов инновационного процесса. Предложена функциональная структура инновационных бизнес-процессов и сформирована структурная связь бизнес-образований. Выделены основные виды бизнес-процессов, способствующие инновационному развитию предприятия. Раскрыта цель построения бизнес-процессов на предприятиях стройиндустрии на основе внедрения инноваций в производственный процесс и достижения результата в получении конечного инновационного продукта. Определены функциональные границы бизнес-процессов, основанные на предложенных определениях. Разработан структурный подход к формированию системы управления инновационными бизнес-процессами на предприятиях стройиндустрии, в основу которого заложен инновационный блок, как объектный элемент системы, позволяющий повысить эффективность и прозрачность системы управления инновационной деятельностью.

Ключевые слова: инновационные бизнес-процессы, инновационный процесс, система управления

DESIGNING THE SYSTEM OF INNOVATIVE BUSINESS PROCESSES IN ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY

Okolelova E.Y., Kornitskaya O.V.

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, e-mail: ella_ok16@mail.ru, mill_mell@list.ru

The article considers innovative business processes of the construction company and the proposed management system focused on the interdependence of all elements of the innovation process. The proposed functional structure of innovative business processes and formed structural link between business entities. The main types of business processes that contribute to the innovative development of the enterprise. Disclosed purpose of building business processes in enterprises, based on the introduction of innovations into the production process and achieving results in the final product innovation. Defined functional boundaries of the business process based on the proposed definitions. Developed a structured approach to the formation of the system of management of innovative business processes in enterprises, based on innovation unit, as an object element of the system, allowing to increase the efficiency and transparency of the management of innovative activities.

Keywords: innovative business processes, innovation process, management system

Рассматривая бизнес-процессы в рамках коадаптации к инновационному развитию предприятий вообще и строительной отрасли в частности, следует акцентировать особое внимание на специфику процессов, условия функционирования которых в векторе инновационного развития предприятий требуют построения консистентного механизма управления и координации деятельности.

Формирование и разработка системы управления инновационными бизнес-процессами, которая позволит построить взаимосвязь всех элементов инновационного процесса, основана на его поступательном развитии от первоначальной стадии мысленного моделирования инновационного замысла до реализации исходного продукта, где действует закон постоянного, непрерывного взаимодействия с контрольно-управленческой структурой.

Система управления инновационными бизнес-процессами представляет циклическую структурную связь бизнес-образований и может иметь следующий вид

Направление инновационной деятельности – образования, связывающие предприятие и состоящие из одной или нескольких групп бизнес-процессов.

Контрольные действия – это структурное и последовательное осуществление контрольных действий посредством проведения деятельности по оценке и инспектированию процесса.

«Операция» – функция, реализуемая одним сотрудником предприятия (ответственный сотрудник), не подлежит контролю, так как основная деятельность функции минимальна.

Рис. 1. Функциональная структура инновационных бизнес-процессов

Результативные действия – действия, реализуемые в установленной последовательности и конкретным исполнителем, приводящим к получению результата, такого как заключение договоров, получение определенной продукции или конкретной устной договоренности.

Совокупные действия – действия, осуществляемые в установленной последовательности сотрудниками предприятия с разным уровнем квалификации для получения значимого результата.

Инновационные бизнес-процессы представляют собой последовательность действий, направленных на реализацию инновационной идеи с целью получения процессной или продуктной инновации (авт.).

Целью построения бизнес-процессов на предприятиях стройиндустрии является формирование и развитие инновационной деятельности на основе внедрения инноваций в производственный процесс и достижение результата в получении конечного инновационного продукта. Развитие предприятия путем объединения поставленных задач и путей их решения с применением основных производственных компетенций, возможно только с помощью бизнес-процессов. Структура управления инновационными бизнес-процессами служит преимуществом в повышении эффективности инвестиционного процесса (сокращение продолжительности, затрат и повышение качества) за счет концентрации в руках практически всех организационно-управленческих функций; прямая экономическая заинтересованность предприятия в положительных финансовых результатах проекта; обеспечение профессионального контроля за временными и затратными показателями; дополнительные возможности снижения рисков для заказчика.

Построение системы управления инновационными бизнес-процессами должно учитывать прежде всего виды бизнес-процессов, участвующие в структуре общего механизма в качестве отдельных обеспечивающих подсистем.

По определению автора, наиболее целесообразно выделить следующие виды бизнес-процессов, способствующих инновационному развитию предприятия:

Координационные (управляющие) – бизнес-процессы, обеспечивающие координацию деятельности по инновационному развитию предприятия, формирующие главные инновационные стратегии, обеспечивающие условия соподчиненности структур и согласованность функций.

Функциональные – бизнес-процессы, связанные непосредственно с деятельностью структурных подразделений в рамках единого корпоративного целеполагания в направлении развития инновационной активности предприятия.

Обеспечивающие – бизнес-процессы, призванные поддерживать функционирование отдельных структурных групп и подразделений в векторе инновационной деятельности компании.

Стимулирующие – бизнес-процессы, определяющие наиболее активные инструменты развития и внедрения инноваций в деятельность предприятия, занимающиеся разработкой креативной политики и мотивационным анализом инновационной деятельности.

Инновационные бизнес-процессы имеют общие для всех видов характеристики, которые имеют в своей основе как количественные, так и качественные параметры, определяющие результативность бизнес-

процессов (уровень реализации запланированных работ, эффективность результата). Основные группы показателей:

1. Показатели выполнения процесса.
2. Показатели продукта процесса.
3. Показатели потребительской полезности процесса.

Эффективность бизнес-процессов заключается в сопоставимости затрат, необходимых для их реализации, с интегральными показателями эффективности.

Система управления инновационными бизнес-процессами направлена на достижение бизнес-целей предприятия, а также на повышение эффективности его работы, повышение качества продукции на основе использования системного подхода к управлению с учетом инициативного участия персонала.

Процессный подход к формированию и развитию инновационной структуры управления, основанный на концентрации тривиальных процессов как фрактальных частей совокупности. Представленный подход позволяет определить информационно-управленческие связи элементов и оптимизировать их структуру. При формировании внутриструктурной связи элементов бизнес-процесса предлагается определение функциональных границ, основываясь на следующих определениях:

1. Границы процесса – совокупность событий, способствующих завершению процесса.
2. Событие – наступление ответственной ситуации.
3. Способствующее событие – событие, при наступлении которого процесс активизируется.
4. Завершающее событие – событие, которым завершается процесс.

При определении границ все формулировки согласовываются между руководителями процессов.

Инновационные предприятия обычно имеют различные не всегда взаимосвязанные между собой направления деятельности. Оптимизация их взаимодействия возможна только на основании упорядочивания как отдельных направлений (бизнесов), так и структуры предприятия в целом.

Система управления бизнес-процессами позволяет на стратегическом уровне обеспечить связь между повседневной деятельностью предприятия и ее стратегическими целями. Сократить сроки производства и реализации товаров и услуг, упростить процедуру заключения договоров и выйти на новый экономический уровень, который позволит сократить и время, и затраты. А также создать здоровую атмосферу в коллективе, что значительно повысит эффективность труда сотрудников и возможность активно реагировать на изменения в конкурентной среде.

Рис. 2. Инновационные бизнес-процессы строительного предприятия

Схема структуры управления инновационной деятельностью строительного предприятия с учетом инновационного блока представлена на рис. 2.

Отдел контроля качества инноваций – производит оценку состава выпускаемой продукции и функциональности инновационной разработки, товара и услуг, разрабатывает и внедряет в производственный процесс меры по улучшению работоспособности персонала. Осуществляет контроль над качеством поступающего сырья, а также производит сбор информации о ресурсном и информационном обеспечении предприятия от подразделений.

Отдел логистики инноваций – осуществляет сбор информации от руководителей подразделений по приему и отправке товаров, производит мониторинг транспортно-экспедиционных организаций и формирует базу перевозчиков. Определяет количество и объемы необходимых площадей для хранения сырья, оборудования для производства инноваций и готовой продукции, координирует работу разгрузочно-погрузочной техники и осуществляет заказ необходимого для предприятия оборудования.

Отдел планирования и прогнозирования – основным видом деятельности отдела является мониторинг экономических показателей окружающей внешней среды, проведение анализа социально-экономического развития региона, в котором находится предприятие, осуществляющее инновационную деятельность. Разрабатывает и формирует методическую программу по планированию инновационной деятельности для обеспечения пропорционального развития социальной и производственной сфер. Составляет прогноз внешней и внутренней среды организации на основании проведенного анализа экономической и финансовой ситуации предприятия, что позволяет определить дальнейшее планирование деятельности.

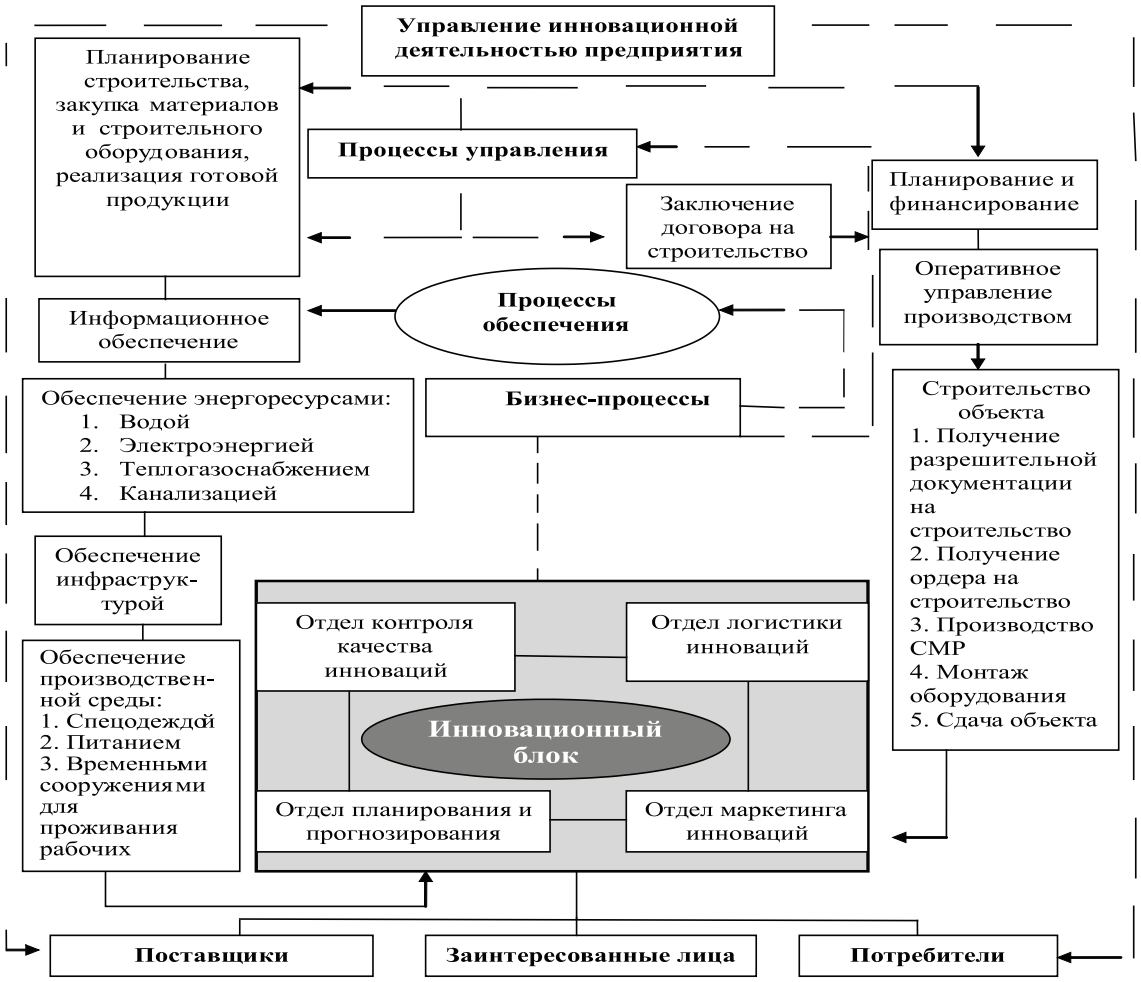


Рис. 3. Схема структуры управления предприятием с учетом инновационного блока

Отдел маркетинга инноваций – разрабатывает инновационную стратегию по производству и сбыту товаров и услуг предприятия, производит контроль в этой области всех подразделений предприятия. Изучает рынок сбыта и занимается вопросами внедрения новой продукции на рынок, проводит мероприятия по повышению эффективности деятельности предприятия с целью его приспособления к изменяющейся рыночной ситуации и требованиям потребителя на рынке.

Структурный подход к формированию системы управления инновационными бизнес-процессами на предприятиях стройиндустрии, в основу которого заложен инновационный блок как объектный элемент системы, позволяет повысить эффективность и прозрачность системы управления инновационной деятельностью, адаптируя к условиям неопределенности внешней инновационной среды, путем оперативного реагирования на изменения условий.

Результатом развития и формирования системы управления инновационными бизнес-процессами является установление приоритетных направлений предприятия, создание и производство конкурентноспособного инновационного продукта.

Список литературы

1. Корницкая О.В. Механизмы и стратегии управления инновационной деятельностью в строительной отрасли // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12867.

2. Корницкая О.В., Околелова Э.Ю., Трухина Н.И. Развитие инноваций и механизм их распространения на предприятиях стройиндустрии // Управление экономическими системами URL http://uecs.ru. Дата публикации: 26.12.13. Номер архива (60) УЭкС, 12/2013 | Инновации. Инвестиции. № регистрации СМИ: ЭЛ № ФС77-35217 от 06.02.2009 г. ISSN: 1999-4516

3. Корницкая О.В., Околелова Э.Ю. Формирование эффективного развития инновационного процесса на предприятии // Определение вектора развития экономических наук в 21 веке: вызовы и решения: материалы XVIII Международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург 2014 г.). – Центр экономических исследований. – 170 с. – С. 132–137.

4. Околелова Э.Ю., Корницкая О.В. Модель развития инновационной деятельности предприятия // Экономическое прогнозирование: модели и методы: материалы IX международной научно-практической конференции 26 апреля 2013 г. / под. общ. ред. В.В. Давниса, В.И. Тиняковой; Воронеж гос. ун-т. и др. – Воронеж: типография Воронежского ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. – 252 с., С. 34–38.

5. Трухина Н.И., Околелова Э.Ю., Корницкая О.В. Стратегия развития инновационной деятельности строительного предприятия // Экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами: теория и практика: сборник материалов международной научной конференции. г. Москва, 26–28 июня 2014 г. ISBN 978-5-00090-023-9.

References

1. Kornickaja O.V. Mehanizmy i strategii upravlenija innovacionnoj dejatel'nost'ju v stroitel'noj otrasli // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 2; URL: http://www.science-education.ru/116-12867.

2. Kornitskaya O.V., Okolelova E.Yu., Truhina N.I. Razvitie innovatsiy i mehanizm ih rasprostraneniya na predpriyatiyah stroyindustrii. «Upravlenie ekonomicheskimi sistemami» URL http://uecs.ru. Data publikatsii: 26.12.13. Nomer arhiva (60) UEkS, 12/2013| Innovatsii.Investitsii. registratsii SMI: EL FS77-35217 ot 06.02.2009 g. ISSN: 1999-4516.

3. Kornitskaya O.V., Okolelova E.Yu. Formirovanie effektivnogo razvitiya innovatsionnogo protsessa na predpriyatii. Materialyi XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Opredelenie vektora razvitiya ekonomicheskih nauk v 21 veke: vyizovyi i resheniya» (g. Sankt-Peterburg 2014g.) Tsentr ekonomicheskih issledovaniy. 170 p. pp. 132–137.

4. Okolelova E.Yu. Kornickaya O.V. Model razvitiya innovacionnoi deyatelnosti predpriyatiya / Ekonomicheskoe prognozirovanie modeli i metodi materiali IX mejdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii 26 aprelya 2013 g. / pod. Obsch. Red. V.V. Davnisa, V.I. Tinyakovoi; Voronej gos. un-t. i dr. Voronezh.

5. Truhina N.I., Okolelova E.Yu., Kornitskaya O.V. Strategiya razvitiya innovatsionnoy deyatelnosti stroitelnogo predpriyatiya. Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ekonomika, organizatsiya i upravlenie predpriyatiyami, otraslyami, kompleksami: teoriya i praktika».Rossiya, g. Moskva, 26–28 iyunya 2014. ISBN 978-5-00090-023-9.

Рецензенты:

Акулова И.И., д.э.н., профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж;

Мещерякова О.К., д.э.н., доцент, профессор кафедры организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 615.035.4

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ КАК ОСНОВЫ КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В МАЛОМ ГОРОДЕ

Першина Т.А.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград, e-mail: tatpersh@yandex.ru

Необходимость повышения качества жизни населения РФ выделена как приоритетное направление государственной политики (Послание Президента Российской Федерации Федеральному собранию 2007 г.). В настоящее время существует множество разрозненных разработок в данной области, но нет системности в управлении процессами повышения качества жизни ни на федеральном, ни на региональном, ни на муниципальном уровнях. В статье представлены результаты исследования направлений повышения комфортности проживания населения малых городов РФ с учетом энергоэффективности, являющейся основной ресурсной компонентой стратегического потенциала безопасности национальной экономики. Полученные научные результаты имеют практическую направленность и могут быть применимы в процессе разработки и реализации социально-экономической политики, нацеленной на формирование и эффективную реализацию потенциала малых городов.

Ключевые слова: малый город, потенциал, энергосбережение, эффективность, жизнедеятельность, комфортность, проживание, социальный, экономический, система, технический, поведенческий, экологический

CONCEPT FORMATION AND REALIZATION OF ENERGY SAVING POTENTIAL AS A BASIS OF A COMFORTABLE STAY IN A SMALL TOWN

Pershina T.A.

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volgograd, e-mail: tatpersh@yandex.ru

The need to improve the quality of life is highlighted as a priority of state policy (Presidential Address to the Federal Assembly of the Russian Federation, 2007). Currently, there are many disparate developments in this field, but there is no system in the management of processes to improve the quality of life either at the federal or regional or municipal levels. The article presents the results of a study ways to increase comfort of living of the population of small towns of Russia, taking into account energy efficiency, which is the main component of the resource potential of the strategic security of the national economy. Scientific results are practical and can be applied in the development and implementation of socio-economic policies aimed at the development and effective implementation of the Small Towns.

Keywords: small town, the potential, energy savings, efficiency, livelihoods, comfort, accommodation, social, economic, system, technical, behavioral, environmental

Тенденция развития общества с учетом сугубо экономических интересов определяет приоритетность крупных городов и мегаполисов, имеющих ресурсные возможности быть самодостаточными, самообеспечивающими все стороны жизнедеятельности населения. Крупный город или мегаполис – это, прежде всего, колоссальный потребитель всех ресурсов, в том числе энергетических во всех видах их источников. Население в крупном городе или мегаполисе – элемент экономического механизма, который нацелен на создание материальных благ и получение прибыли во всех возможных формах. Здесь население представляет собой исключительно ресурс для получения прибыли, оно наднационально, надкультурно, надпатриотично. Потеря чувства национальной, культурной, территориальной принадлежности – признак «негражданственности», то есть не отождествления населением себя в качестве граждан этой страны. Отсюда формируются локальные и групповые поведенческие стратегии, наносящие вред государству.

Носителями традиционной культуры во всех её аспектах являются малые города и малые поселения. В современных условиях деградация этих городов ведет к усилению кризисных явлений в национальной экономике, масштаб которых не изучен и не оценен в полной мере.

Малый город в системе национальной экономики – это не только структурная единица экономической системы, это ДНК человеческого потенциала, способного к воспроизводству этногенетического и культурного кода на высоком уровне. Деградация и разрушение малых городов ведет к утере этого потенциала, его заимствованию извне, с чем неизбежно произойдет стирание границ государства.

Потенциал энергосбережения как основная ресурсная компонента стратегического потенциала безопасности национальной экономики в малых городах не задействован в полной мере, что приносит существенный экономический, экологический ущерб и не позволяет малым городам накапливать резервы развития.

В связи с этим целью исследования является разработка концепции формирования и реализации потенциала энергосбережения во всех его компонентах как основы эффективной жизнедеятельности и комфортного проживания населения в малых городах. Масштаб и уровень ожидаемого эффекта – государственный, региональный, муниципальный.

Предмет исследования: организационно-экономические отношения, процессы, факторы формирования и реализации потенциала энергосбережения, его влияния на эффективность жизнедеятельности и комфортности проживания населения в малых городах. *Объект исследования* – малые города (на примере малых городов Волгоградской области). *Задачи исследования:*

– обосновать теоретические подходы к определению комфортности проживания населения в малом городе с учетом фактора энергоэффективности;

– разработать методологию формирования и реализации потенциала энергосбережения в малом городе в контексте показателей комфортности проживания населения;

– предложить и обосновать механизм реализации потенциала энергосбережения в малом городе и привести результаты его апробации.

Рабочая гипотеза. Ввиду деградации малых городов, невнимания к проблемам их развития, недооценки их роли в обеспечении стабильности социальной и экономической систем государства эффективность жизнедеятельности и комфортность проживания в них являются гораздо ниже, нежели в крупных городах и мегаполисах. В полной мере это относится и к реализации потенциала энергосбережения, который в условиях малого города быстрее и эффективнее может быть реализован во всех его компонентах: поведенческой, экономической, технической, экологической.

Теоретические подходы к определению комфортности проживания населения в малом городе с учетом фактора энергоэффективности

Многоаспектная область вопросов повышения уровня и качества жизни населения в масштабах городских поселений до сих пор остается не достаточно изученной и проработанной, несмотря на большое внимание научного сообщества и мировой общественности в лице ООН и Комиссии ЮНЕСКО по народонаселению и качеству жизни к этому в целом. Проблематика уровня и качества жизни населения рассматривается широко как зарубежными, так и отечественными учеными.

Термин «качество жизни» как научное понятие стал применяться после опубликования в 1960 году работы Дж. Гэлбрейта «Общество изобилия», в которой он впервые применил данное понятие. Большой вклад в формирование современных представлений о качестве жизни внесли такие зарубежные ученые, как Э. Дюркгейм, М. Вебер, Э. Мейо, Ф. Герцберг и многие другие.

Комфортность проживания населения – это характеристика физического, психологического, эмоционального и социального восприятия людьми своего положения в жизни в зависимости от культурных особенностей и системы ценностей и в связи с их целями, ожиданиями, стандартами и заботами.

Основным потребителем комфортности является население, без которого само понятие теряет всякий смысл, а хозяйственный комплекс – это крупнейший фактор, влияющий на изменение уровня комфортности, причем как в положительную, так и в отрицательную сторону [5, 7].

Под *населением*, как правило, понимается совокупность людей в пределах определенной пространственной системы. То есть население представляет собой территориальную общность людей, которая отличается от других человеческих общностей своим отношением к территории [6].

С.А. Айвазян выделяет пять базовых компонентов, образующих среду жизнедеятельности населения: качество населения, благосостояние населения, качество социальной сферы, качество экологической ниши, природно-климатические условия [1].

В сознании современного человека качество пространственной среды, его комфортной среды проживания неотделимо от социально-экономических характеристик. Оно все больше влияет на выбор места жительства и работы, от него зависит стоимость недвижимости, оно учитывается при размещении видов деятельности.

В рамках данной статьи **комфортность проживания населения малого города с учетом фактора энергоэффективности** определена как совокупность условий жизнедеятельности – жилищных, природно-климатических и условий использования топливно-энергетических ресурсов, которые обеспечивают образование, здравоохранение,

физическое и психическое здоровье; материальное благополучие населения, при которых социальная, экологическая и экономическая среды города гармонизированы.

По мнению автора, она измеряется методами экономико-статистического, энергетического, экологического анализа и аудита:

– качеством экологической ниши (данными о загрязнении воздушного пространства, воды, о качестве почвы, уровне биоразнообразия территории);

– качеством условий, частотой и спецификой форс-мажорных ситуаций (наводнений, землетрясений, ураганов и других стихийных бедствий) (кол-во случаев);

– общей площадью занимаемого жилья на одного жителя ($м^2$ на чел.);

– обеспеченностью жилых помещений энергетическими ресурсами и наличие/отсутствие перебоев в их подаче (ед.);

– текущими затратами на охрану окружающей среды (тыс. руб.);

– индексом активности в области энергосбережения, который включает в себя выполнение/не выполнение утвержденных программ энергосбережения, количество проведенных энергоаудиторских обследований, уровень информированности населения о необходимости энергосбережения, количество подготовленных в области энергоэффективности специалистов, индекс оснащенности приборами учета жилых помещений [4].

Это не полный, но достаточный свод параметров и индикаторов, которыми могут быть измерены уровень и качество жизни населения малого города с позиций энергоэффективности.

Методический подход к формированию и реализации потенциала энергосбережения в малом городе в контексте показателей комфортности проживания населения

Анализ теоретического и методического инструментария оценки качества жизни населения показал, что в настоящее время существует три подхода к решению проблемы определения и измерения уровня и качества жизни: объективный, субъективный и интегральный.

По мнению автора, наиболее полную и объективную оценку качества жизни населения малого города позволяет получить интегральный подход, который предполагает, что объективные и субъективные показатели необходимо рассматривать как равнозначные. При этом при оценке необходимо использовать 5 групп показателей: образование, здравоохранение, физическое и психическое здоровье, материальное благосостояние, комфортность проживания с учетом фактора энергоэффективности (рис. 1).

Рис. 1. Показатели оценки качества жизни населения на уровне малого города

В соответствии с предложенным подходом произведена оценка качества жизни населения малых городов Южного федерального округа (Палласовка, Котово, Камышин, Суровикино). Результаты проведенного экономического анализа показателей, характеризующих качество жизни на уровне малого города, представлены на рис. 2–3.

На рис. 3 наглядно представлены направления повышения качества жизни населения, в частности для города Камышина – повышение доли текущих затрат на охрану окружающей среды, а для города Суровикино – повышение активности города в области энергосбережения.

Для таких городов, как Камышин и Суровикино, основными направлениями являются повышение активности города в области энергосбережения и обеспеченности населения жильем, так как происходит значительное отставание этих показателей от средних значений по региону. У города Суровикино также занижены на 13 пунктов значения индекса ВРП на душу населения, что оказывает негативное влияние на уровень жизни населения.

Город Камышин признан самым комфортным с позиций оценки среды жизнедеятельности, второе место поделили между собой города Суровикино и Палласовка и на четвертом месте находится город Котово с интегральной оценкой 0,641. Полученные оценки могут быть учтены при корректировке Стратегий развития исследуемых городов ЮФО.

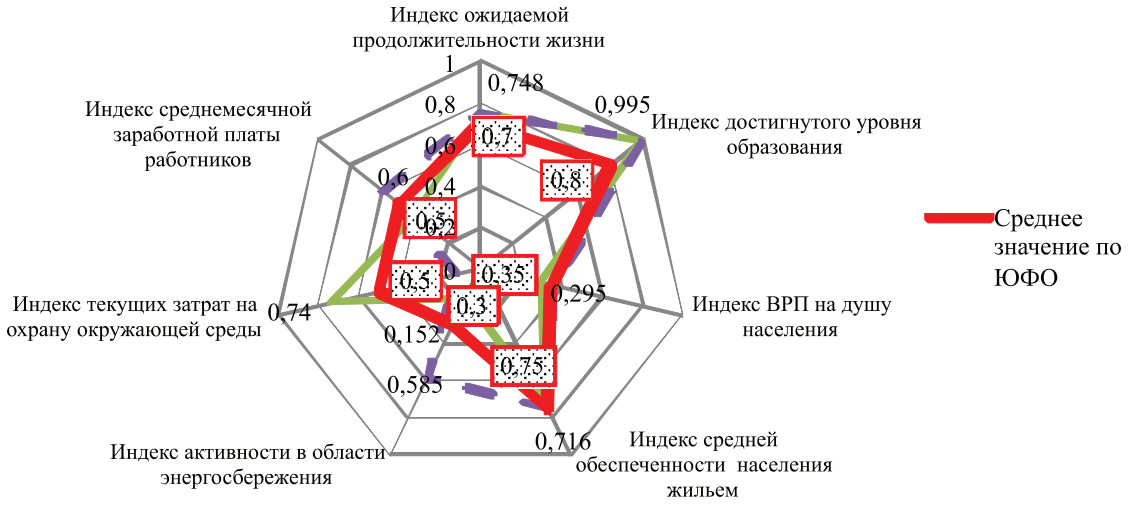


Рис. 2. Сравнительные эпюры индексов, составляющих интегральную оценку качества жизни населения малых городов (гг. Палласовка и Котово)

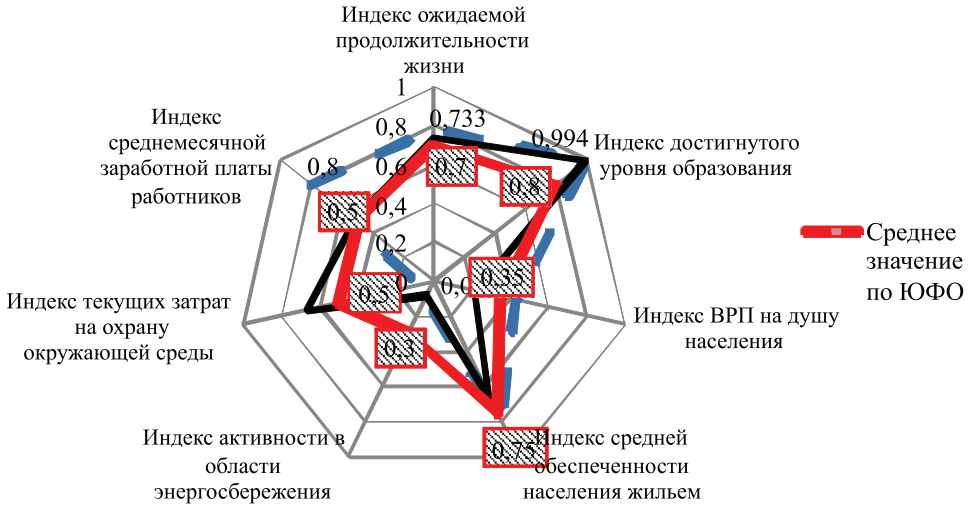


Рис. 3. Сравнительные эпюры индексов, составляющих интегральную оценку качества жизни населения малых городов (гг. Камышин и Суровикино)

Модель реализации потенциала энергосбережения как основы эффективности жизнедеятельности и комфортности проживания населения в малом городе

Социально-экономическое развитие в современном мире идёт по пути создания все новых и новых видов товаров, очень часто – с ухудшением их качества и с невосполнимым ущербом природной среде и энергетическим ресурсам [2].

Дальнейшее развитие малых городов может считаться энергоэффективным и прогрессивным при условии эффективного задействования внутренних резервов, способностей и возможностей, согласованности экономических целей, задач и подчиненности их социальным и экологическим целям и задачам развития малых городов. В этих условиях особая роль должна отводиться лицам, непосредственно принимающим стратегические решения. В системе мероприятий по реализации потенциала энергосбережения как основы эффективности жизнедеятельности и комфортности проживания населения на уровне малого города целесообразна организация взаимодействия между службами, создание эффективной системы контроля (включая общественный).

Модель реализации потенциала энергосбережения структурно-логически может быть представлена в виде этапов. Первый этап – определение миссии малого города как социально-экономической системы, на основе анализа факторов внешней среды косвенного и прямого воздействия, формулировка долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных целей развития. Определение миссии и целей заключается в обосновании четко выраженной причины существования малого города как социально-экономической системы, определении желаемых результатов его функционирования при всех возможных ожидаемых изменениях факторов внешней среды и выработку на втором этапе стратегии [3].

Третий этап предполагает выбор одного из них. На четвертом этапе происходит разработка социально-экономической политики, отражающей миссию и стратегию развития малого города с учетом энергоэффективности. На пятом этапе оценивается результативность социально-экономической политики и ее соответствие выбранной стратегии развития.

Предложенная модель реализации потенциала энергосбережения как основы эффективности жизнедеятельности и комфортности проживания населения в малом городе и алгоритм формирования социально-экономической политики малого города призваны свести к минимуму вероятность разработки неконкурентоспособных программ и проектов, оптимизировать продолжительность лага инвестирования ресурсов, а также решить ряд проблем повышения комфортности проживания населения с учетом энергоэффективности малых городов.

Выводы

1. Предложена и научно обоснована концепция влияния реализации потенциала энергосбережения на комфортность проживания населения в малом городе.
2. Введено в научный оборот понятие комфортности проживания населения в малом городе с учетом фактора энергоэффективности.
3. Разработан и апробирован методический подход к формированию и реализации потенциала энергосбережения в малом городе в контексте показателей комфортности проживания населения.
4. Разработана модель формирования и реализации потенциала энергосбережения в малом городе в формате стандарта комфортности проживания населения.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегий социально-экономического развития, программ энергосбережения малых городов на кратко- средне-, и долгосрочный периоды. Результаты исследования могут использоваться администрациями малых городов при разработке программ реализации потенциала энергосбережения на локальных уровнях и в целом по малым городам.

Список литературы

1. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях. – М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – С. 13.

2. Баулина О.А. Теоретико-методологические основы кластерного развития Волгоградской области // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2014. – № 3 (39). – URL: http://region.mcnip.ru/modules.php? name=News&file=article&sid=335 (дата обращения: 28.01.2015).

3. Максимчук О.В. Факторы развития современных экономических систем: монография. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2006. – С. 125.

4. Максимчук О.В., Першина Т.А. Оценка уровня и качества жизни горожан с позиций комфортности проживания в современном городе (на примере крупных городов ЮФО) // Социология города. – 2014. – № 2. – С. 33–55.

5. Меринов Ю. Эколого-социальная комфортность городской среды: факторы и территориальные закономерности (на примере г. Ростова-на-Дону): дис. ... канд. геогр. наук. – Ростов-на-Дону, 2000. – С. 16.

6. Щепаньский Я. Элементарные понятия социологии. – М.: Прогресс, 1969. – С. 18.

7. Albrecht G., Devlieger P. The disability paradox: high quality of life against all odds // Social Science & Medicine. –1999. – Vol. 48. – № 8. – P. 77–88.

References

1. Ajvazjan S.A. Integral'nye indikatory kachestva zhizni naselenija: ih postroenie i ispol'zovanie v social'no-jekonomicheskom upravlenii i mezhregional'nyh sopostavlenijah. M.: CJeMI RAN, 2000. pp. 13.

2. Baulina O.A. Teoretiko-metodologicheskie osnovy klasternogo razvitija Volgogradskoj oblasti // Regional'naja jekonomika i upravlenie: jelektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014. no. 3 (39). URL: http://region.mcnip.ru/modules.php? name=News&file=article&sid=335 (data obrashhenija: 28.01.2015).

3. Maksimchuk O.V. Faktory razvitija sovremennyh jekonomicheskih sistem: monografija. Volgograd: Izd-vo VolgGASU, 2006. pp. 125.

4. Maksimchuk O.V., Pershina T.A. Ocenka urovnja i kachestva zhizni gorozhan s pozicij komfortnosti prozhivanija v sovremennom gorode (na primere krupnyh gorodov JuFO) // Sociologija goroda. 2014. no. 2. pp. 33–55.

5. Merinov Ju. Jekologo-social'naja komfortnost' gorodskoj sredy: faktory i territorial'nye zakonomernosti (na primere g. Rostova-na-Donu): dis. ... kand. geogr. nauk. – Rostov-na-Donu, 2000. pp. 16.

6. Shhepan'skij Ja. Jelementarnye ponjatija sociologii. M.: Progress, 1969. pp. 18.

7. Albrecht G., Devlieger P. The disability paradox: high quality of life against all odds // Social Science & Medicine. 1999. Vol. 48. no. 8. pp. 77–88.

Рецензенты:

Неретина Е.А., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой маркетинга, Национальный исследовательский Мордовский университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск;

Резник Г.А., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой маркетинга и экономической теории, Пензенский университет архитектуры и строительства, г. Пенза.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.

УДК 330

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПОРТАЛА

Прохорова А.М.

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, e-mail: Blackleprosy@gmail.com

В статье рассматриваются подходы и методы при построении модели оптимизации структуры эффективного портала с точки зрения образовательных услуг, а также рассмотрен анализ эффективности и оптимизации порталов вуза и возможность их использования для продвижения образовательных услуг. Представлена математическая модель, описывающая требования к оптимальной структуре портала с учетом возможных сценариев поведения пользователей. Предложенные модели, методы и инструментарий предоставят разработчикам возможности для оптимизации структуры образовательных порталов на основе анализа статистики посещаемости и навигации пользователей, что будет способствовать продвижению портала в сети и продвижению образовательных услуг вуза. Таким образом, предложенные модели, методы и инструментарий предоставят разработчикам возможности для оптимизации структуры образовательных порталов на основе анализа статистики посещаемости и навигации пользователей, что будет способствовать продвижению портала в сети и продвижению образовательных услуг вуза.

Ключевые слова: интернет-маркетинг, образовательные услуги, статус вуза, структура портала, математическая модель

ECONOMIC-MATHEMATICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF OPTIMIZATION MODEL STRUCTURE EFFECTIVE PORTAL

Prokhorova A.M.

Rostov State University of Economics (RINH), Rostov-on-Don, e-mail: Blackleprosy@gmail.com

The article discusses approaches and methods in the model to optimize the structure of the portal effective, in terms of educational services, as well as reviewed the analysis of efficiency and optimize the portals of the university and the possibility of their use for the promotion of educational services. A mathematical model describing the requirements for the optimal structure of the portal, taking into account possible scenarios of user behavior. The proposed models, methods and tools to provide developers with opportunities to optimize the structure of educational portals based on analysis of usage statistics and user navigation that will promote the portal in the network and the promotion of educational services of high school. In such a way proposed models, methods and tools to provide developers with opportunities to optimize the structure of educational portals based on analysis of usage statistics and user navigation that will promote the portal in the network and the promotion of educational services of high school.

Keywords: internet marketing, educational services, status of the university, the structure of the portal, mathematical model

На сегодняшний день рынок образовательных услуг активно развивается и расширяется. Учебные заведения рекламируют свои образовательные услуги, что способствует конкурентоспособности образовательных учреждений, так как потребители становятся более информированными в вопросах, касающихся выбора образовательного учреждения. Целевая аудитория становится более требовательной. Именно поэтому необходимо особое внимание уделять маркетинговой и рекламной деятельности образовательного учреждения.

Применение различных подходов к продвижению вуза (планы на будущее развитие и обновление образовательных услуг, подкрепленное маркетинговыми исследованиями с учетом требований работодателей, их видения и пожеланий относительно профессиональных навыков выпускников, организация рекламной деятельности и продвижение образовательных услуг) является главным в вопросе повышения статуса образовательного учреждения.

Развитие сети Интернет и информационных технологий позволило осуществлять работу по продвижению образовательных услуг с использованием образовательных порталов на базе различных инструментов и методов, направленных на привлечение потенциальных потребителей образовательных услуг и формирования имиджа и репутации вуза. Сейчас почти все крупные вузы начали заниматься продвижением своих образовательных услуг с помощью образовательных порталов.

Образовательный веб-портал – это всеобъемлющая ресурсная информационная поддержка, обеспечивающая, в свою очередь, качественные образовательные услуги, что приводит к повышению конкурентоспособности образовательного учреждения на рынке образовательных услуг.

Продвижение образовательных услуг включает комплекс мер по продвижению как сайта и портала, так и образовательных услуг в целом в сети. Продвижение образовательных услуг с помощью образовательного портала может включать в себя огромный арсенал инструментов, в том числе поисковое продвижение, контекстная реклама, баннерная реклама, e-mail маркетинг, аффилиативный или партнерский маркетинг. Партнерский маркетинг – это метод продвижения товара и услуг, в том числе и образовательных услуг, в котором партнер получает вознаграждение за каждого посетителя, подписчика, покупателя и/или продажу, осуществленные благодаря его усилиям. Скрытый маркетинг – это комплекс мероприятий, направленных на формирование устойчивого положительного имиджа бренда, товара, услуги или компании, образовательного учреждения среди всех целевых аудиторий, в том числе интерактивная реклама, работа с блогами и т.д.

Интернет-маркетинг стал популярным с расширением доступа в Интернет и являет собой неотъемлемую часть любой маркетинговой компании организации, предприятия, в том числе и в образовательной сфере. Основным преимуществом интернет-маркетинга в образовательной сфере является доступность и неограниченность для потребителя информации об образовательных услугах. В продвижении образовательных услуг интернет-маркетинг может включать в себя такие элементы системы, как медийная реклама, контекстная реклама, поисковый маркетинг, прямой маркетинг, мобильный маркетинг, социальный маркетинг, тайм-маркетинг, доверительный маркетинг.

Также в целях эффективного продвижения образовательных услуг может быть использован поисковый маркетинг в целом и SEO (search engine optimization, поисковая оптимизация) в частности SMO (social media optimization, продвижение сайта в социальных медиа-сетях) и SMM (social media marketing, маркетинг в социальных медиа-сетях).

Использование прямого маркетинга на образовательном портале позволяет реализовать непосредственную коммуникацию с пользователем с целью построения взаимоотношений и продвижения образовательных услуг с использованием e-mail, RSS (Rich Site Summary – сводка сайта, то есть семейство XML-форматов, предназначенных для описания лент новостей, анонсов статей, изменений в блогах и т.п.) и т.п.

Существует много правил, способствующих увеличению посещаемости и популярности образовательных веб-порталов: выбор места размещения веб-сервера, выбор имени домена веб-сервера, организация обратной связи с аудиторией веб-сервера, использование статистики, получаемой провайдером услуг Интернет.

Счетчики и анализаторы – весьма удобный инструмент для оценки эффективности образовательного сайта по продвижению услуг. Счетчик, установленный на образовательном сайте, может представить данные в разрезе каждого пользователя, необходимые для комплексного анализа работы сайта. Счетчик должен собирать информацию о любых действиях пользователей на сайте: о входящих именах хостов, браузеров или систем, поисковых систем или ссылок, с какого сайта пришел пользователь, в какое время был произведен вход, продолжительность посещения, о навигации пользователя, о посещаемости отдельных страниц. На основе полученных счетчиком данных программа может собирать статистику о предпочтениях пользователей в процессе работы с образовательным порталом.

Грамотная структура сайта не только предоставляет пользователю удобный интерфейс, оставляет у посетителей приятное впечатление о нём, но и благоприятно влияет на ранжирование сайта поисковыми системами. В некоторых случаях хорошая внутренняя оптимизация сайта может вывести сайт на первые места поисковых систем без дополнительных усилий.

Структура сайта описывается ориентированным графом, в котором вершинами являются страницы, а ребрами – гиперссылки, связывающие пару страниц между собой. Имеется множество различных вариантов структуры сайта, среди которых необходимо выбрать такой вариант, который будет способствовать привлечению и удержанию пользователей. В качестве критерия эффективности организации сайта принимается показатель среднего времени Y нахождения на сайте пользователя за одну сессию. Выбор такого критерия основан на предположении о том, что заинтересованность пользователя в информационном наполнении сайта должна приводить к увеличению общего времени просмотра сайта.

Показатель времени просмотра сайта Y пользователями можно представить в виде функции от последовательности просмотра страниц и времени просмотра каждой страницы. Навигация пользователя по сайту представлена в виде матрицы переходов со страницы i на страницу j по гиперссылкам сайта. Необходимо определить значимость перехода пользователей со страницы i на страницу j по гиперссылкам, то есть степень влияния каждой включенной в структуру

сайта гиперссылки на критерий эффективности – среднее время работы с сайтом.

Представляется в виде матрицы $\|Cij\|$ ($i = 1, \ldots, n$; $j = 1, \ldots, n$) последовательность переходов пользователя по гиперссылкам при просмотре страниц сайта, где n – общее число страниц на сайте;

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если был переход с } i \text{ на } j \text{ страницу;} \\ 0, \text{ иначе.} \end{cases}$$

Время просмотра пользователем страницы j после перехода со страницы i задается как элемент U_{ij} матрицы $\|Uij\|$. Представим $\|Cij\| = \|Ct\|$ при $t = 1, 2, \ldots, n{\cdot}n = m$, а $\|Uij\| = \|Ut\|$ при $t = 1, 2, \ldots, n{\cdot}n = m$.

Зависимость среднего времени пребывания пользователя на сайте от выбранной навигации по гиперссылкам и времени просмотра каждой страницы может быть описана в виде следующего уравнения регрессии:

$$Y = C_0 + C_1{\cdot}U_1 + C_2{\cdot}U_2 + \ldots C_j{\cdot}U_j + \ldots + C_m{\cdot}U_m,$$

Значение элементов матрицы $\|Ct\|$ и $\|Ut\|$ формируется по результатам статистики о действиях каждого h-го пользователя, которую представляет программа-анализатор, установленная на каждой странице сайта. В процессе построения множественной линейной регрессии по результатам k различных просмотров сайта разными пользователями определяются коэффициенты регрессии C_0, C_1, C_2, …, C_j, …, C_m. Численное значение коэффициентов дает оценку степени влияния факторов – той или иной связи между страницами сайта на среднее время пребывания пользователя на сайте.

Наибольшее применение на практике получили нейронные сети прямой передачи сигнала типа многослойный персептрон с одним или несколькими скрытыми слоями, обучение которых производится методом обратного распространения ошибки.

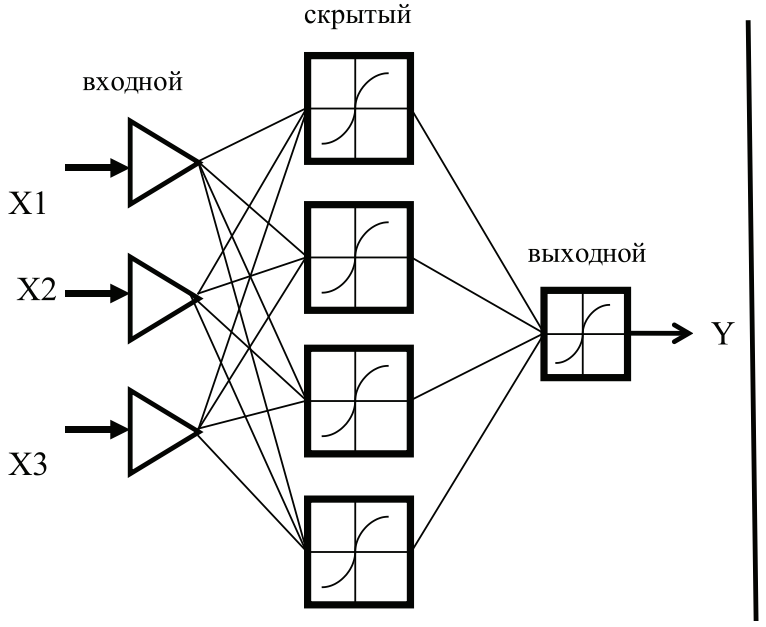
На рисунке представлена схема многослойного персептрона типа 3-4-1 (с тремя нейронами входного слоя, четырьмя нейронами скрытого и одним нейроном выходного).

Математически нейрон представляет собой взвешенный сумматор, единственный выход которого определяется через его входы и значения синаптических весов входов. Например, выход первого нейрона скрытого слоя ИНС (рисунок) определяется выражением

$$Y_{hl1} - F_{hl1}\left(x_1 \cdot w_{11} - x_2 \cdot w_{21} - x_3 \cdot w_{31} - b_{hl1}\right),$$

где x_1, x_2, x_3 – значения входных переменных; w_{11}, w_{21}, w_{31} – значения весов между нейроном и нейронами входного слоя; b_{hl1} – значение смещения нейрона; F_{hl1} – функция активации нейрона.

В качестве функции активации нейронов выходного слоя обычно используется линейная функция. В качестве функций активации нейронов скрытого слоя обычно используются сигмоидные функции: логистическая (несимметричная) либо гиперболический тангенс (симметричная). Именно благодаря использованию нелинейных функций активации нейронов ИНС способны воспроизводить нелинейные зависимости.



Многослойный персептрон

С помощью многослойного персептрона решаются задачи, в том числе нелинейной множественной регрессии, которой описывается зависимость показателя эффективности сайта от его структуры. Алгоритмы моделирования ИНС в виде многослойного персептрона реализованы во многих инструментальных средствах, в том числе в программном пакете MATLAB (Neural Network Toolbox), Statistica Neural Network, Neuroshell2.

Для обучения сети на контрольных выборках используются различные алгоритмы, в частности итеративные градиентные алгоритмы, которые отрабатывают несколько итераций (эпох).

После обучения можно на общей статистической выборке провести определение показателей значимостей входных параметров (связей между страницами) – насколько каждая из них значима для прогноза выходного показателя – среднего времени просмотра сайта.

Можно дополнительно (помимо значений) определять ранги входных параметров для каждой сети. Это позволяет более адекватно проводить анализ влияния параметров на выходной показатель. В большинстве случаев ранги совпадают со средними значениями значимостей параметров, но иногда отличаются. Среднее значение может быть небольшим (значимости усредняются по всем сетям), тем не менее ранг показывает большую значимость данного параметра. Ранг точнее определяет порядок следования параметров по степени их влияния на выходной показатель.

Для каждого параметра определяется суммарный ранг для серии сетей, который рассчитывается как сумма рангов каждой реализации сети. Параметры упорядочиваются в соответствии с порядком возрастания суммарного ранга (от минимального значения суммарного ранга до максимального).

Таким образом, предложенные модели, методы и инструментарий предоставят разработчикам возможности для оптимизации структуры образовательных порталов на основе анализа статистики посещаемости и навигации пользователей, что будет способствовать продвижению портала в сети и продвижению образовательных услуг вуза.

Список литературы

1. Бокарев Т.А. Способы продвижения компании в сети Интернет // Маркетинг и маркетинговые исследования, – 2009. – № 4. – 340 с.

2. Прохорова А.М. Методы продвижения образовательных услуг с помощью образовательного портала // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – 2011. – № 3(34). – С. 96–102.

3. Прохорова А.М. Модели продвижения образовательных услуг в системе интернет-маркетинга // Журнал СевКавГТИ. – 2012. – Выпуск 12. – С. 57–62.

4. Прохорова А.М. Методы продвижения образовательных услуг в системе интернет-маркетинга // Казанская наука. – 2012. – № 5. – С. 78–80.

5. Прохорова А.М. Экономико-математическая модель формирования структуры образовательного портала // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012: материалы Международной научно-практической конференции. – Вып. 2. Т. 24. – Одесса: Куприенко, 2012. – С. 78–85.

References

1. Bokarev T.A. Sposoby prodvizhenija kompanii v seti Internet // Marketing i marketingovye issledovanija, 2009. no. 4. 340 p.

2. Prohorova A.M. Metody prodvizhenija obrazovatel'nyh uslug s pomoshh'ju obrazovatel'nogo portala // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo. 2011. no. 3(34). pp. 96–102.

3. Prohorova A.M. Modeli prodvizhenija obrazovatel'nyh uslug v sisteme internet-marketinga // Zhurnal SevKavGTI. 2012. Vypusk 12. pp. 57–62.

4. Prohorova A.M. Metody prodvizhenija obrazovatel'nyh uslug v sisteme internet-marketinga // Kazanskaja nauka. 2012. no. 5. pp. 78–80.

5. Prohorova A.M. Jekonomiko-matematicheskaja model' formirovanija struktury obrazovatel'nogo portala // Perspektivnye innovacii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte 2012: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vyp. 2. T. 24. Odessa: Kuprienko, 2012. pp. 78–85.

Рецензенты:

Щербаков С.М., д.э.н., доцент, профессор кафедры информационных систем и прикладной информатики факультета компьютерных технологий и информационной безопасности, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону;

Тищенко Е.Н., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и защиты информации факультета компьютерных технологий и информационной безопасности, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), г. Ростов-на-Дону.

Работа поступила в редакцию 16.02.2015.