
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 5 2015
Часть 1

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 01.06.2015
Формат 60х90 1/8
Технический редактор Кулакова Г.А.
Корректор Галенкина Е.С.
Усл. печ. л. 30,88.
Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2015/4

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ <i>Аксенов А.А., Малюков С.В.</i>	9
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ <i>Аксенов К.А.</i>	14
К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В.</i>	19
О ДИАГНОСТИКЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗ СТРУН ПО КОНЕЧНОМУ НАБОРУ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ <i>Ахтямов А.М., Аксенова З.Ф.</i>	27
ПОВЫШЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ <i>Боташева Х.Ю., Лукина С.И., Пономарева Е.И.</i>	32
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ <i>Володин К.И., Горюнова В.В., Горюнова Т.И.</i>	37
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЮЧКОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ <i>Габрюк В.И.</i>	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПРОДУЦИРУЕМОЙ КУЛЬТУРОЙ <i>MEDUSOMYCES GISEVII</i> <i>Гладышева Е.К.</i>	53
ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ <i>Горюнова В.В., Горюнова Т.И., Кухтевич И.И.</i>	58
РАННЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ МЕТЕОСЛУЖБ АЭРОПОРТОВ О ШТОРМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ПРИЕМА ИНФРАЗВУКА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И СВЧ ЗОНДИРУЮЩИХ ЛУЧАХ <i>Дубянский С.А.</i>	63
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕРМОСТОЙКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛИМЕРМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ <i>Еремеева Н.М., Чадина В.В., Свешникова Е.С., Панова Л.Г.</i>	68
МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И МОМЕНТОВ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ <i>Зубрицкас И.И.</i>	73
ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИСКРЕТНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩИХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ <i>Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Иванец Г.Е., Сухоруков Д.В., Шулбаева М.Т., Сафонова Е.А.</i>	77

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ВВЕДЕНИИ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ОКСИДНЫМ НАНОПОРОШКОМ НИТЕВИДНОГО ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ <i>Камышина К.С., Промахов В.В., Вакалова Т.А., Хабас Т.А.</i>	82
К ВОПРОСУ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА МЕЖДУ РАЗНОТИПНЫМИ СРЕДСТВАМИ ЗАЩИТЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА <i>Кочедыков С.С., Кравченко А.С., Родин С.В., Перминов Г.В., Душкин А.В.</i>	89
ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДНИЩА И АНОДНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ РВСПК-20000 БЕЗ ДЕМОНТАЖА ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ <i>Кузовников Е.В., Шарков А.Е., Соколов С.С., Тарасенко А.А., Чепур П.В.</i>	94
АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ ФЕРРИТОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ УЗЛОВ <i>Куц Л.Е., Жевалев О.Ю., Родионов И.В., Зоркин А.Я., Приходько М.А.</i>	100
СТЕНДОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК <i>Лунев Н.А.</i>	104
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЯДА ОПАСНОСТЕЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ПУНКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДОВ <i>Минацевич С.Ф., Борисов С.С.</i>	109
ЗАМЕДЛЕННОЕ И АКТИВНОЕ ЛОКАЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ В ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ <i>Мишин В.М., Волоконский М.В.</i>	114
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕДИТОВАНИЯ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ СТАНОВЛЕНИИ ДОЛГОСРОЧНОГО РАВНОВЕСИЯ <i>Пелипенко Е.Ю., Халафян А.А., Гортинская В.В.</i>	119
ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СЕЛЕНИДОВ МЕДИ В ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РАСТВОРАХ <i>Петров Г.В.</i>	124
ЗАПАСЁННАЯ ЭНЕРГИЯ В ГРАФИТЕ, ОБЛУЧЁННОМ ДО ВЫСОКИХ ФЛЮЕНСОВ НЕЙТРОНОВ <i>Покровский А.С., Белан Е.П., Харьков Д.В.</i>	130
НАНОКЛАСТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КОЛЕЦ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ <i>Рау В.Г., Никитин О.Р., Рау Т.Ф., Ломтев Л.А., Горшков К.А.</i>	137
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ НА УСЛОВИЯ ТРУДА ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА <i>Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Бедретдинов Р.Ш.</i>	143
ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ОБЪЕКТОМ <i>Сташков Д.В., Насыров И.Р., Казаковцев Л.А.</i>	149
ТРУДНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ХАССП НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ <i>Третьяк Л.Н., Антипова А.П., Куприянов А.В.</i>	154

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА ЖИЗНЕННО ВАЖНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СОСТОЯНИЯ НОВОРОЖДЕННЫХ

Хассанин Хатем Мохамед Абдель Максуд 162

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫМ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Юдинцев А.Г., Рулевский В.М. 168

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Ядыкина В.В., Траутвайн А.И. 174

Экономические науки

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МАРКЕТИНГОВОГО ПОДХОДА

Бутко Г.П., Матвеева Я.А., Машиков К.А., Корсунов П.П. 180

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Гешева М.В., Нагоев А.Б. 185

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Зайцева И.В., Попова М.В., Казначеева О.Х., Тихонов Э.Е. 190

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ И ДОСТУПНОСТИ ЖИЛЬЯ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ

Коростин С.А. 195

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Нечаев С.Ю., Шелудякова И.Г. 199

ОБЗОР КЛИЕНТСКИХ СЕГМЕНТОВ PRIVATE BANKING (ЧАСТНОГО БАНКОВСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ)

Парамонова В.Е. 208

МЕТОД ПИКТОПОЛИГРАФИИ КАК СПОСОБ ОБЪЕКТИВАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подопригора М.Г., Тытарь А.Д. 212

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПО РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

Саенко И.И. 217

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭТАЖНОСТИ И ПЛОЩАДИ ЗАСТРОЙКИ НА СМЕТНУЮ СТОИМОСТЬ ЖИЛЬЯ ПРИ УКРУПНЕННЫХ РАСЧЕТАХ

Сайфутдинова Р.В. 221

ТРАНСАКЦИОННЫЕ ИЗДЕРЖКИ ПАЦИЕНТОВ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЯЗАТЕЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ

Школьник Е.В. 226

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 232

CONTENTS

Technical sciences

INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES AND DEGREES OF HARDNESS SEALS COMPRESSED WOOD <i>Aksenov A.A., Malyukov S.V.</i>	9
DESIGN PRINCIPLES OF MULTI AGENT RESOURCES CONVERSION PROCESS MODELS <i>Aksenov K.A.</i>	14
TO THE ISSUE OF CARBON DIOXIDE CORROSION MECHANISM OF THE CONSTRUCTION MATERIALS <i>Anikanova T.V., Rakhimbaev S.M., Kaftaeva M.V.</i>	19
ON DIAGNOSTICS OF STRINGS MECHANICAL SYSTEM FROM THE FINITE SET OF EIGENVALUES <i>Akhtyamov A.M., Aksenova Z.F.</i>	27
INCREASE OF BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS <i>Botasheva K.Y., Lukina S.I., Ponomareva E.I.</i>	32
THE DEVELOPMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORKS SOFTWARE FOR SOLVING PROBLEMS OF COMPLEX SAFETY IN HEALTH CARE <i>Volodin K.I., Goryunova V.V., Goryunova T.I.</i>	37
MATHEMATICAL MODELING OF THE HOOK FISHING SYSTEMS <i>Gabryuk V.I.</i>	41
STUDY INTO PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MEDUSOMYCES GISEVII BACTERIAL CELLULOSE <i>Gladysheva E.K.</i>	53
THE MAIN TRENDS OF MEDICAL INFORMATION SYSTEMS <i>Goryunova V.V., Goryunova T.I., Kukhtevich I.I.</i>	58
EARLY WARNING OF WEATHER SERVICES OF AIRPORTS ABOUT STORMS WITH USE OF PARAMETRIC DEVICE OF RECEPTION OF INFRA-AUDIBLE SOUND ON ULTRASONIC AND MICROWAVE PROBING BEAMS <i>Dubyanskiy S.A.</i>	63
INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF CELLULOSE-CONTAINING RAW MATERIAL AT GETTING HEAT-RESISTANT FILLER FOR POLYMER COMPOSITES <i>Eremeeva N.M., Chadina V.V., Sveshnikova E.S., Panova L.G.</i>	68
THE METHOD OF FORECASTING THE FREQUENCY OF INDIVIDUAL MAINTENANCE AND TORQUES TROUBLESHOOTING CARS <i>Zubritskas I.I.</i>	73
FORMATION MODE OF DISCRETE DOSING TO OPTIMIZATION OF WORK OF CONTINUOUS ACTION MIXER <i>Ivanets V.N., Borodulin D.M., Ivanets G.E., Sukhorukov D.V., Shulbaeva M.T., Safonova E.A.</i>	77
INVESTIGATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ALUMINA-ZIRCONIA CERAMICS WITH THE INTRODUCTION OF THE IMPREGNATED OXIDE NANOPOWDER FILAMENTOUS PORE-FORMING ADDITIVE <i>Kamyshnaya K.S., Promakhov V.V., Vakalova T.V., Khabas T.A.</i>	82

TO THE QUESTION OF INFORMATION OF THE STRUCTURE TIME ALLOCATION OF RESOURCES BETWEEN DIFFERENT TYPES OF MEANS OF PROTECTION AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS <i>Kochedykov S.S., Kravchenko A.S., Rodin S.V., Perminov G.V., Dushkin A.V.</i>	89
THE TECHNOLOGY OF BOTTOM AND ANODE GROUNDING REPAIR WITHOUT DISMANTLING THE FLOATING ROOF OF AST-20000 <i>Kuzovnikov E.V., Sharkov A.E., Sokolov S.S., Tarasenko A.A., Chepur P.V.</i>	94
ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS FERRITE MATERIALS IN DIFFUSION WELDING FERRITE METAL PARTS <i>Kuts L.E., Zhevaleyev O.Y., Rodionov I.V., Zorkin A.Y., Prikhodko M.A.</i>	100
STAND MODELING GAS DYNAMIC PROCESSES IN CLEANING AIR DEVICE OF GAS TURBINES <i>Lunev N.A.</i>	104
DETERMINE SERIES OF SPECIFIC DANGERS FOR UNATTENDED POINTS OF TECHNOLOGICAL COMMUNICATION OIL AND GAS PIPELINES <i>Minatsevich S.F., Borisov S.S.</i>	109
DELAYED AND ACTIVE LOCAL FRACTURE POWDER STEEL IN A HYDROGEN CONTAINING MEDIUM <i>Mishin V.M., Volokonnskiy M.V.</i>	114
MATHEMATICAL MODEL FOR LENDING OPTIONS DETERMINATION OF RUSSIAN ENTERPRISES BY THE WAY OF LONG-TERM EQUILIBRIUM FORMATION AT THE LENDING MARKET <i>Pelipenko E.Y., Khalafyan A.A., Gortinskaya V.V.</i>	119
FEATURES OF BEHAVIOUR OF COPPER SELENIDE IN POLYSULFIDE SOLUTIONS <i>Petrov G.V.</i>	124
STORED ENERGY IN GRAPHITE EXPOSED TO HIGH FLUENCE <i>Pokrovskiy A.S., Belan E.P., Kharkov D.V.</i>	130
NANO-CLUSTER CIRCULAR SYSTEMS FOR THE ELECTRONICS <i>Rau V.G., Nikitin O.R., Rau T.F., Lomtev L.A., Gorshkov K.A.</i>	137
STUDY THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION WORKING CONDITIONS CREW <i>Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Bedretdinov R.S.</i>	143
PROBLEM OF FORMING A FAULT-TOLERANT INDUSTRIAL CONTROL SOFTWARE PACKAGE <i>Stashkov D.V., Nasyrov I.R., Kazakovtsev L.A.</i>	149
DIFFICULTIES AND PERSPECTIVES OF SYSTEM HACCP INTRODUCTION ONTO THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES OF THE ORENBURG REGION AT THE PRESENT STAGE <i>Tretyak L.N., Antipova A.P., Kupriyanov A.V.</i>	154
INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE MAIN VITAL PARAMETERS OF NEONATAL STATUS <i>Hassanin Hatem Mohamed Abdel Maksoud</i>	162
THE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION CONTROL SYSTEM FOR THREE-PHASE VOLTAGE SOURCE INVERTER <i>Yudintsev A.G., Rulevskiy V.M.</i>	168

THE INFLUENCE OF THE ACTIVE FILLER BASED ON THE TECHNOGENIC
SILICEOUS RAW MATERIALS ON THE STRENGTH CEMENT SYSTEMS

Yadykina V.V., Trautvain A.I. 174

Economic sciences

MEASURE COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES BASED
ON THE MARKET APPROACH

Butko G.P., Matveeva Y.A., Mashkov K.A., Korsunov P.P. 180

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF INVESTMENT APPEAL
OF THE MACHINE-BUILDING COMPLEX OF THE REGION

Gesheva M.V., Nagoev A.B. 185

SYSTEM APPROACH AS A THEORETICAL BASIS
OF RESEARCH STRUCTURE OF LABOUR POTENTIAL

Zaytseva I.V., Popova M.V., Kaznacheeva O.K., Tikhonov E.E. 190

ANALYSIS OF INDICATORS FOR REGIONAL MARKET DEVELOPMENT
IN RESIDENTIAL REAL ESTATE AND HOUSING AFFORDABILITY
IN REGIONS OF RUSSIA

Korostin S.A. 195

COMPETITIVENESS: INSTITUTIONAL ASPECTS

Nechaev S.Y., Sheludyakova I.G. 199

REVIEW OF PRIVATE BANKING CLIENT GROUPS

Paramonova V.E. 208

PICTOPOLYGRAPHIC METHOD AS A WAY OF PSYCHODIAGNOSTIC
RESEARCH RESULTS OBJECTIFICATION

Podoprighora M.G., Tytar A.D. 212

IMPROVING PUBLIC SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL
CONSUMER COOPERATION IN THE AGRARIAN SECTOR

Saenko I.I. 217

THE ASSESSMENT EFFECTS ON PROVISIONAL ESTIMATE BY NUMBER
OF STOREYS AND HOUSE AREA IN DOMESTIC HOUSING

Sayfutdinova R.V. 221

TRANSACTION COSTS OF PATIENTS IN THE SYSTEM
OF MANDATORY HEALTH INSURANCE

Shkolnik E.V. 226

RULES FOR AUTHORS 232

УДК 621.002: 674.812

ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Аксенов А.А., Малюков С.В.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru*

Определены значения твердости прессованной древесины с учетом анизотропии при температурах от +20 до –100°C. Исследования твердости проведены в различных направлениях приложения нагрузки по отношению к расположению волокон для каждой экспериментальной температурной точки. Выявлено что с понижением температуры от +20 до –100°C твердость прессованной древесины увеличивается. Наибольшую абсолютную величину имеет твердость в торцевом направлении к волокнам прессованной древесины. Анизотропия древесины оказывает незначительное влияние на характер изменения твердости в интервале температур от +20 до –100°C. Определены значения твердости для торцевых поверхностей прессованной древесины при увеличении ее степени уплотнения от 0 до 0,57. Установлена эмпирическая зависимость для расчета твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры. Прессованная древесина может быть применена в узлах трения различных машин и механизмов, работающих в абразивных, агрессивных и влажных средах в различных диапазонах температур.

Ключевые слова: прессованная древесина, твердость, узел трения, отрицательная температура

INFLUENCE OF NEGATIVE TEMPERATURES AND DEGREES OF HARDNESS SEALS COMPRESSED WOOD

Aksenov A.A., Malyukov S.V.

*FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»,
Voronezh, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru*

The values of hardness of molded wood with anisotropy in the temperature-RAH from +20 to –100°C. Hardness studies conducted in various areas of application of the load in relation to the arrangement of fibers for each experimental temperature points. Revealed that with decreasing temperature from +20 to –100°C hardness pressed wood rises. The greatest absolute value has a hardness in a face direction to the pressure-treated wood fibers. Anisotropy of wood has little impact on the variation of hardness in the temperature range from +20 to –100°C. The values of hardness for the end surface of the pressure-treated wood when increasing the degree of compaction of from 0 to 0,57. Established an empirical relationship to calculate the hardness of a molded wood depending on the degree of compaction and temperature. Extruded wood can be used in the friction of various machines and mechanisms operating in abrasive, corrosive and wet environments in different temperature ranges.

Keywords: pressed wood, hardness, friction unit, negative temperature

Узлы трения являются ответственными и в то же время уязвимыми конструктивными элементами машин и механизмов, часто определяющими их надежность и ресурс. Эксплуатация их неизбежно связана с протеканием процессов изнашивания, интенсивность которых зависит от свойств материалов деталей, технологической подготовки поверхностей и их качества, от условий работы узла трения: нагрузки, скорости, температуры, смазки и др. Снижение интенсивности изнашивания является одной из самых острых проблем современности. Свыше 80% отказов машин происходит из-за износа узлов и деталей. Потери средств от трения и износа в развитых государствах достигают 4...5% национального дохода, а преодоление сопротивления трения поглощает во всем мире 20...25% вырабатываемой за год энергии [4].

Эксплуатация узлов трения многих машин и механизмов в различных отраслях промыш-

ленности протекает в абразивных, агрессивных и влажных средах в различных диапазонах температур. Одним из лучших антифрикционных материалов, способных работать в таких условиях, является прессованная древесина.

В настоящее время существуют различные способы прессования древесины: одноосное и контурное прессование, торцовое и продольное гнутье [5]. Для различных условий эксплуатации и в зависимости от конструкции узлов трения с подшипниками из прессованной древесины разработаны методики их инженерных расчетов [2].

Стандарт ГОСТ 13338-86 устанавливает метод определения статической твердости прессованной древесины. Сущность метода состоит в определении глубины отпечатка стального шарика диаметром 5 мм при внедрении его в образец размерами 15×15×45 мм или втулку внутренним диаметром не менее 50 мм с толщиной стенки более 3 мм размерами 15×3×45 мм [6].

В работе [1] проведены экспериментальные исследования зависимости твердости прессованной древесины от температуры с учетом анизотропии материала. Для испытаний были выбраны образцы прессованной древесины березы со средней степенью уплотнения $\varepsilon = 0,5$.

Испытания проводились при температурах $+20$, 0 , -20 , -50 и -100°C . В соответствии с требованиями точности число повторных опытов для каждой точки испытаний было принято равным 14 при доверительном интервале не менее 96%.

Для определения твердости прессованной древесины применялась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

га укреплен уравнивающий систему противовес 18. Снизу на длинном плече двуплечего рычага 1 шарнирно закреплен шток 16 крепления шарика (индентора).

На пульте управления, прикрепленном к станине 10, располагаются кнопки включения 11 и выключения 12 прибора и сигнальные лампочки управления 13 и 14. К станине крепится индикатор 15 для замера глубины отпечатков. Индикатор 15 взаимодействует со штоком 16 через упор 17, прикрепленный к штоку.

Для изменения температуры азот из сосуда Дьюара 19 по изолированной трубке 20 через предохранительный клапан 21 и магнитный клапан 22, прикрепленный к крышке 23, подается в термोकриокамеру 24.

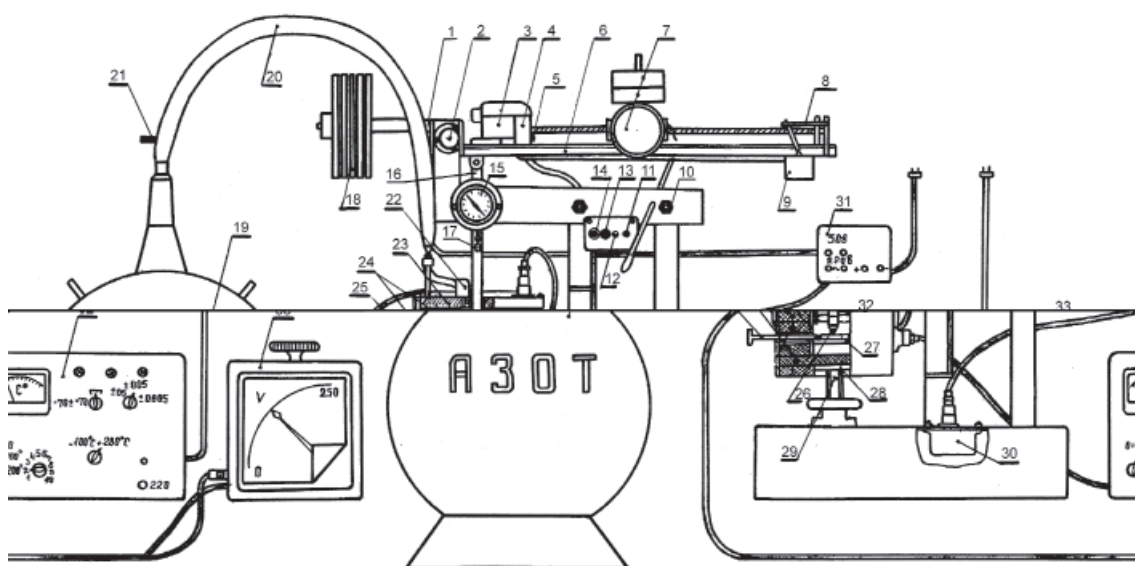


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения твердости в зависимости от температуры:

- 1 – двуплечий рычаг; 2 – опора; 3 – реверсивный двигатель; 4 – фрикционная передача;
- 5 – конечный выключатель; 6 – винт; 7 – груз; 8 – рычаг; 9 – переключатель;
- 10 – станина; 11 – кнопка включения; 12 – кнопка выключения; 13, 14 – сигнальные лампочки управления; 15 – индикатор; 16 – шток; 17 – упор; 18 – противовес; 19 – сосуд Дьюара;
- 20 – изолированная трубка; 21 – предохранительный клапан; 22 – магнитный клапан;
- 23 – крышка; 24 – термोकриокамера; 25 – винт; 26 – шарик (индентор); 27 – образец;
- 28 – подставка; 29 – винтовой подъемник; 30 – реле времени; 31 – источник питания;
- 32 – электронный регулятор установки тепла-холода; 33 – регулятор напряжения

Рычажная система нагружения выполнена в виде двуплечего рычага 1, шарнирно закрепленного на опоре 2. Сверху в начале длинного плеча двуплечего рычага установлен реверсивный двигатель 3 с фрикционной передачей 4 и прикрепленным к ним конечным выключателем 5, кинематически связанным с двигателем винтом 6, с помощью которого перемещается груз 7. На конце длинного плеча двуплечего рычага 1 установлен рычаг 8 переключателя 9. На конце короткого плеча двуплечего рыча-

Через изоляционную стенку термोकриокамеры 24 проходит винт 25, перемещающий (координирующий) положение образца в камере по отношению к шарика 26. Образец 27 при испытании перемещается винтом 25 в направляющих так, что отпечатки шарика располагаются в ряд на расстоянии 5 мм. Термोकриокамера 24 устанавливается на подставку 28 винтового подъемника 29.

В нижнем коробе станины 10 расположено реле времени 30, которое с помощью разъема и кабеля присоединяется

к источнику питания 31. Термокриокамера 24 разъемом и кабелем соединяется с передвижным электронным регулятором 32 установки тепла-холода. Для электропитания переменного напряжения нагревателей, входящих в установку тепла-холода, служит регулятор напряжения 33.

При проведении испытаний образец из прессованной древесины стандартных размеров устанавливается на дно термокриокамеры 24 (рис. 1) и с помощью винтового подъемника 29 создается предварительная нагрузка на шарик, равная 10 Н. Затем шкала индикатора прибора устанавливается на нуль, после чего с помощью рычажного механизма плавно увеличивается нагрузка на шарик до 250 Н в течение 30 с и выдерживается в течение 30 с, после чего нагрузка в течение 30 с плавно уменьшается до 10 Н. После снятия нагрузки делается выдержка до тех пор, пока стрелка индикатора не остановится, т.е. произойдет восстановление, и только после этого замеряется глубина восстановленного отпечатка. Глубина отпечатка измеряется с погрешностью не более 0,002 мм.

Твердость прессованной древесины определялась по формуле [6]

$$H = \frac{F}{2\pi R h}, \quad (1)$$

где H – твердость, Па; F – нагрузка, приложенная к шарiku, Н; R – радиус шарика, м; h – глубина восстановленного отпечатка, м.

Так как древесина, в том числе и прессованная, представляет собой анизотропный материал, исследования твердости проводились в различном направлении приложения нагрузки по отношению к расположению волокон для каждой экспериментальной температурной точки в соответствии с ранее изложенной методикой.

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимости твердости прессованной древесины в различном направлении к волокнам от температуры, которые представлены на рис. 2.

Анализируя графики, представленные на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

1. С понижением температуры от +20 до –100 °С твердость прессованной древесины увеличивается:

- при действии нагрузки в радиальном направлении к волокнам от 124,7 до 349,3 МПа;
- в тангенциальном – от 128,1 до 400,4 МПа;
- в торцевом – от 133,6 до 404,5 МПа.

2. Наибольшую абсолютную величину имеет твердость в торцевом направлении к волокнам прессованной древесины, следовательно, торцевая поверхность предпочтительнее для использования в качестве поверхности трения.

3. Анизотропия древесины оказывает незначительное влияние на характер изменения твердости в интервале температур от +20 до –100 °С.

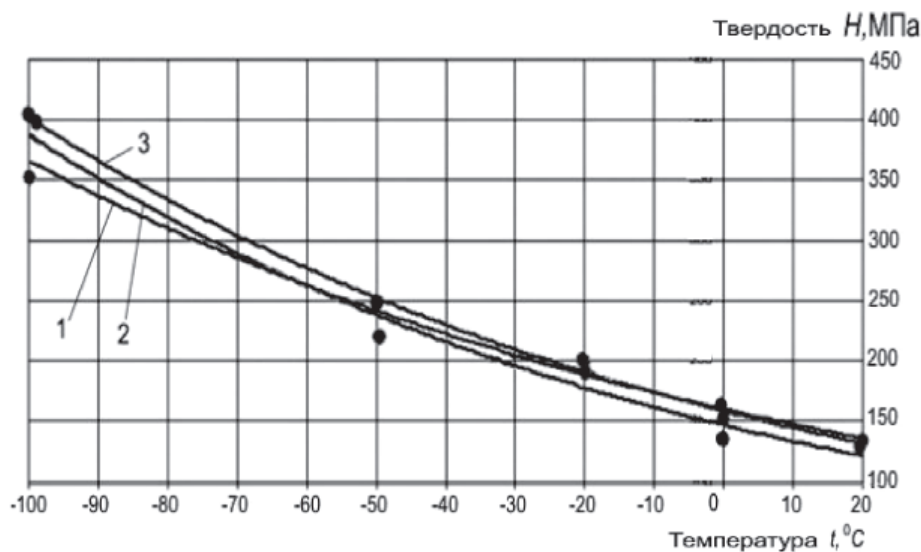


Рис. 2. Зависимость твердости прессованной древесины от температуры:
1 – в радиальном направлении к волокнам;
2 – в тангенциальном направлении к волокнам;
3 – в торцевом направлении к волокнам

Так как торцевая поверхность трения является оптимальной, по результатам экспериментальных данных изменения торцевой твердости прессованной древесины в интервале температур от +20 до -100°C получена аналитическая зависимость [3]:

$$H_t = 158,34e^{-0,0093t}, \quad (2)$$

где H_t – торцевая твердость прессованной древесины, МПа; t – температура, °C.

Для определения зависимости твердости прессованной древесины от степени уплотнения исследования проводились на экспериментальной установке, описанной ранее [1]. Для проведения измерений была подготовлена партия образцов, изготовленных из натуральной и прессованной древесины березы в соответствии с ГОСТ 13338-86 размерами 15×15×45 мм [6].

Каждый образец взвешивался до и после уплотнения для определения плотности и расчета степени уплотнения по формуле

$$\varepsilon = \ln \frac{\rho_1}{\rho_0}, \quad (3)$$

где ε – степень уплотнения прессованной древесины; ρ_1 – плотность после уплотнения, кг/м³; ρ_0 – плотность до уплотнения (натуральной древесины), кг/м³.

Степень уплотнения образцов ε принимала следующие значения: 0,12; 0,15; 0,18; 0,25; 0,35; 0,50; 0,57. В соответствии с требованиями точности число повторных опытов для каждого значения

степени уплотнения было принято равным 12 при доверительном интервале не менее 95 %.

Измерения проводились при температуре +20°C только в торцевом направлении к волокнам, так как торцевая поверхность является оптимальной для трения. Твердость определялась в соответствии с ранее описанной методикой по формуле (1).

В результате экспериментальных исследований определена твердость прессованной древесины березы в зависимости от степени уплотнения и построен график зависимости, представленный на рис. 3.

Методом аппроксимации установлена эмпирическая зависимость твердости H от степени уплотнения ε :

$$H_t = 134,2\varepsilon + 69,91, \quad (4)$$

где H_t – торцевая твердость прессованной древесины, МПа; ε – степень уплотнения.

Установлено, что увеличение степени уплотнения до уровня 0,57 приводит к возрастанию твердости до 147 МПа торцевой поверхности прессованной древесины.

Анализируя графическую зависимость твердости прессованной древесины от степени ее уплотнения, можно сделать предположение, что в пределах степени уплотнения от 0 до 0,6 твердость изменяется по линейной зависимости (на рис. 3 показана пунктирной линией), т.е. твердость прямолинейно зависит от степени уплотнения древесины.

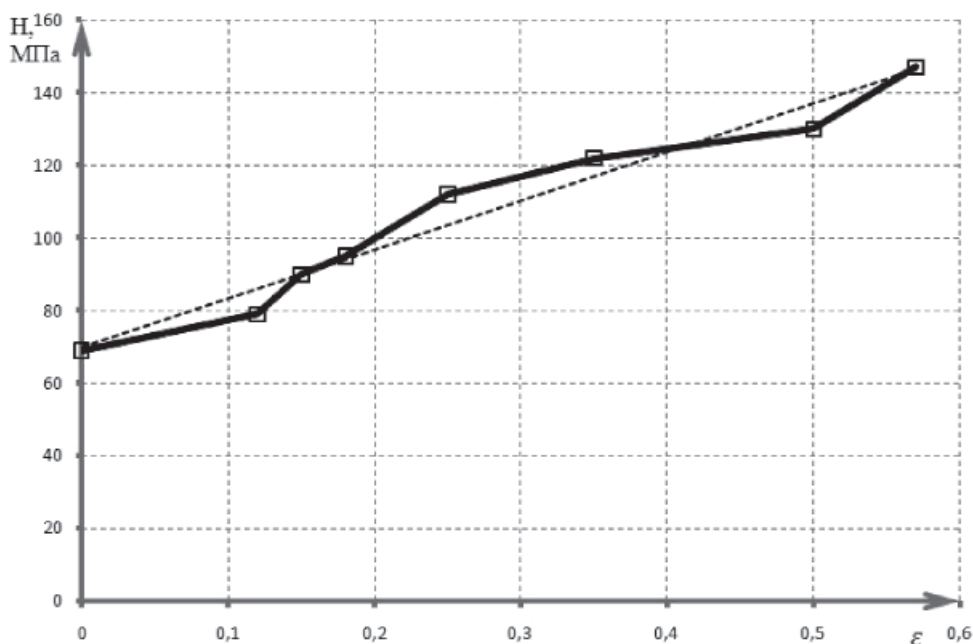


Рис. 3. Зависимость торцевой твердости прессованной древесины от степени ее уплотнения

Таким образом, рассчитав степень уплотнения прессованной древесины по формуле (3), можно определить торцевую твердость прессованной древесины по формуле (4). Однако это не позволяет определить твердость при конкретной температуре.

Для сопоставления формул (2) и (4) необходимо ввести коэффициент корреляции K , зависящий от степени уплотнения. Такой коэффициент был найден графическим методом и определяется по формуле

$$K = 1,0277\varepsilon + 0,5235, \quad (5)$$

где K – коэффициент корреляции; ε – степень уплотнения.

Тогда формула для расчета торцевой твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры запишется в виде

$$H_T = 158,34e^{-0,0093t} \cdot (1,0277\varepsilon + 0,5235). \quad (6)$$

Выводы

1. Определены зависимости твердости прессованной древесины с учетом анизотропии от температуры.

2. Установлено, что наиболее целесообразно использовать торцевую поверхность прессованной древесины как поверхность трения.

3. Получена эмпирическая зависимость торцевой твердости прессованной древесины от температуры в интервале от +20 до –100°C.

4. Экспериментально определена зависимость торцевой твердости прессованной древесины от степени уплотнения, получена эмпирическая зависимость.

5. Выведена формула для определения торцевой твердости прессованной древесины в зависимости от степени уплотнения и температуры в интервале от +20 до –100°C.

Список литературы

1. Аксенов А.А. Повышение надежности подшипников лесных машин, работающих при отрицательных температурах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 18 с.

2. Аксенов А.А., Винник Н.И. Узлы трения с подшипниками из прессованной древесины. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. – 137 с.

3. Аксенов А.А., Малуков С.В. Твердость и деформации прессованной древесины при отрицательных температурах // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т.4. – № 3 (15). – С. 184–192.

4. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: учеб. для вузов. – М.: Выш. шк., 1999. – 374 с.

5. Винник Н.И. Модифицированная древесина. – М.: Лесн. промышленность, 1980. – 158 с.

6. ГОСТ 13338-86. Древесина модифицированная. Метод определения твердости, временных упругих и временных остаточных деформаций. – Введ. 1986-03-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

References

1. Aksenov A.A. *Povyshenie nadezhnosti podshipnikov lesnykh mashin, rabotayushchikh pri otritsatelnykh temperaturakh*: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Improving the reliability of the bearings forestry machines operating at low temperatures. Cand. tech. sciences author. dis.]. Voronezh, 2003, 18 p.

2. Aksenov A.A., Vinnik N.I. *Uzly treniya s podshipnikami iz pressovannoy drevesiny* [The friction of the bearings of press-treated wood]. Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2013, 137 p.

3. Aksenov A.A., Malyukov S.V. *Tverdost i deformatsii pressovannoy drevesiny pri otritsatelnykh temperaturakh* [Hardness and deformation of molded wood at low temperatures]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2014, Vol. 4, no. 3 (15), pp. 184–192. doi: 10.12737/6286.

4. Bogdanovich P.N., Prusak V.J. *Trenie i iznos v mashinakh* [Friction and wear in machines]. Moscow, 1999, 374 p.

5. Winnick N.I. *Modifitsirovannaya drevesina* [Modified wood]. Moscow, 1980, 158 p.

6. GOST 13338-86. *Drevesina modifitsirovannaya. Metod opredeleniya tverdosti, vre-mennykh uprugikh i vremennykh ostatochnykh deformatsiy. Vved. 1986-03-01.* [GOST 13338-86. Modified wood. Method for determination of hardness, elastic time and temporary residual deformation. Enter. 1986-03-01]. Moscow, Publishing house of standards, 1986, 8 p.

Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж;

Пухов Е.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.

УДК 004.896

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Аксенов К.А.*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: wiper99@mail.ru*

В статье рассматриваются принципы построения моделей мультиагентного процесса преобразования ресурсов. Для исследования технологических, логистических и организационных (бизнес) процессов применяется модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов. Для анализа и моделирования технологических, логистических и бизнес-процессов используется метод анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов, который основан на интеграции модели процесса преобразования ресурсов, операционного анализа вероятностных сетей, мультиагентного подхода и экспертных систем. В работе приведены результаты экспериментального сравнения нового метода, предлагаемого автором, с методом критического пути. Разработанные принципы построения мультиагентных моделей процессов и метод анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов программно реализованы в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции.

Ключевые слова: мультиагентное моделирование, узкое место, процесс преобразования ресурсов, метод критического пути, автоматизированная информационная система

DESIGN PRINCIPLES OF MULTI AGENT RESOURCES CONVERSION PROCESS MODELS

Aksenov K.A.*Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, e-mail: wiper99@mail.ru*

In this work is considered design principles of multi agent resources conversion processes models. For technological, logistical and business processes analysis are used multi agent resources conversion process model. For analysis and simulation of technological, logistical and business processes are used the method of analysis and bottlenecks elimination of multi agent resources conversion process. The method based on resources operation analysis of probability networks, conversion process model, simulation, multi agent approach and expert systems. In this paper is describe the experimental result of comparison analysis of author's method and critical path method. New design principles of multi agents model and method of analysis and bottlenecks elimination of multi agent resources conversion process are implemented in metallurgical enterprise information system.

Keywords: multi-agent simulation, bottlenecks, resource conversion processes, critical path method, automated information system

Для формализации и последующего имитационного моделирования технологических, логистических и организационных (бизнес) процессов в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции (АС ВМП) [1, 5, 8] используется мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР) [4]. К основным элементам модели МППР относятся следующие [4]: операции, агенты, источники и приемники ресурсов, ресурсы, средства, заявки. Ниже рассмотрены принципы построения модели МППР.

Принципы построения модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов

При построении имитационной модели процесса предприятия (в модуле создания моделей процессов (СМП)) строятся следующие подмодели:

– генерации объектов (единиц продукции (ЕП) / проектов / заказов), такой объект в мо-

дели МППР представим в виде экземпляра заявки (транзакта) с набором атрибутов;

– процессов прохождения объектов (технологических, логистических и организационных (бизнес) процессов, связанных с обработкой единиц продукции на агрегатах и оборудовании, транспортировке ЕП и выполнением заказов / этапов проекта / производственных операций), в модели МППР маршрут обработки заявки формируется цепочкой блоков, состоящих из преобразователей (операций и агентов);

– поставок потребляемых ресурсов (сырья, материалов и полуфабрикатов), в модели МППР маршрут поставки ресурсов формируется цепочкой блоков, состоящих из операций и агентов;

– работы средств (станки, оборудование, агрегаты, транспорт, персонал).

Данные предметные области для моделирования набора объектов (заказов на производство ЕП, портфеля проектов, портфеля производственных заказов) диктуют

следующие специфические требования и соответствующие им правила построения имитационной модели:

а) ограничение по объему потребляемых ресурсов в процессе производства (например, энергоресурсов). В случае превышения ограничения на суммарные затраты данный объект (единица продукции или заказ) становится нерентабельным;

б) ограничение по объему используемых средств (ограниченность квалифицированного персонала, производственных мощностей станков, агрегатов, оборудования, единиц транспорта и погрузочно-разгрузочной техники);

в) должна использоваться стратегия обработки объектов «первым пришел – первым вышел» т.к. задержки при обработке (производстве/выполнении) отдельного объекта (ЕП/заказа) приводят к ряду дополнительных затрат (временных, энергетических, материальных), а также могут приводить к браку и преждевременному износу оборудования и агрегатов (поломкам). В связи с этим блоки модели должны применять выталкивающую стратегию для заявки «объект единица продукции» (заказ) (приоритет блоков модели возрастает от начальных этапов обработки (выполнения) к завершающим);

г) для металлургического производства характерно параллельное во времени выполнение этапов разных работ по производству единиц продукции, входящих в заказ. Работы (операции / соответствующие блоки имитационной модели), относящиеся к критическому пути, должны иметь приоритет выше, чем у параллельных работ.

Данные требования предметной области и правила построения имитационной модели также хорошо согласуются с выводами Дэйвиса [6]: «... правило упорядочения, в соответствии с которым первой выполняется работа с наименьшим резервом, в среднем дает наилучший результат». Применение разработанных принципов построения имитационных моделей и метода анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов [2–3] позволяют решать задачи балансировки ресурсов.

Сравнение принципов построения моделей и метода анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов с методом критического пути

Для анализа узких мест в управлении проектами и строительстве наиболее часто применяется сетевая модель, которая вместе с методом критического пути (англ. Critical Path Method (CPM) [6]) позволяет

определить резервы времени выполнения отдельных работ. Применение имитационной модели с выталкивающей стратегией приоритетов операций приводит к эффекту наискорейшего «проталкивания» работ.

Постановка задачи

Для подтверждения эффективности используемой выталкивающей стратегии в имитационных моделях рассмотрим возможные случаи параллельного выполнения во времени двух объектов (2 заказов на производство комплекта, состоящего из трех единиц продукции (ЕП)). Первая ЕП в заказе производится в процессе обработки на операциях Op1-Op2-Op3-Op4. Вторая ЕП в заказе производится в процессе обработки на операциях Op5-Op6-Op7-Op8. Третья ЕП в заказе производится в процессе обработки на операциях Op9-Op10-Op11. Возможность выполнения нескольких операций в цехе одновременно и параллельно во времени ограничена общим потребляемым энергоресурсом, используемым при обработке ЕП на средствах операций (агрегатах / оборудовании). В зависимости от варианта параллельно могут выполняться 2 или 3 операции.

Для случая, когда параллельно во времени могут выполняться 2 работы и наивысший приоритет назначается работам, относящимся к критическому пути (причем эти приоритеты для разных заказов (объектов) одинаковы), возможны следующие ситуации, связанные со временем начала заказов (рис. 1 – заказ «Объект 2» начинается в конце критического пути «Объект 1», рис. 2 – заказ «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Op2 заказа «Объект 1»). Одной из оценок решаемой задачи является оценка суммарной длительности выполнения заказа «Объект 1» и заказа «Объект 2», т.е. портфеля заказов (портфель проектов – терминология, используемая в сетевом планировании).

Как видно из рис. 2, применение «выталкивающей» стратегии имеет важное значение и позволит избежать подобных ситуаций для задач управления и планирования портфелей заказов/проектов. Вариант портфеля заказов на рис. 1 (с суммарной длительностью 60), отличается на 2 единицы времени от варианта, представленного на рис. 1 (суммарная длительность 58). Если в модель портфеля заказов ввести штрафные санкции за увеличение сроков работ по отдельному заказу, то возможны ситуации (определяемые размерами штрафов), когда вариант на рис. 1 будет более экономичен по сравнению с вариантом на рис. 2. Так, длительность отдельных объектов для варианта на рис. 1 составила 30 и 32 часа, а для варианта на рис. 2 составила 43 и 43 часа.

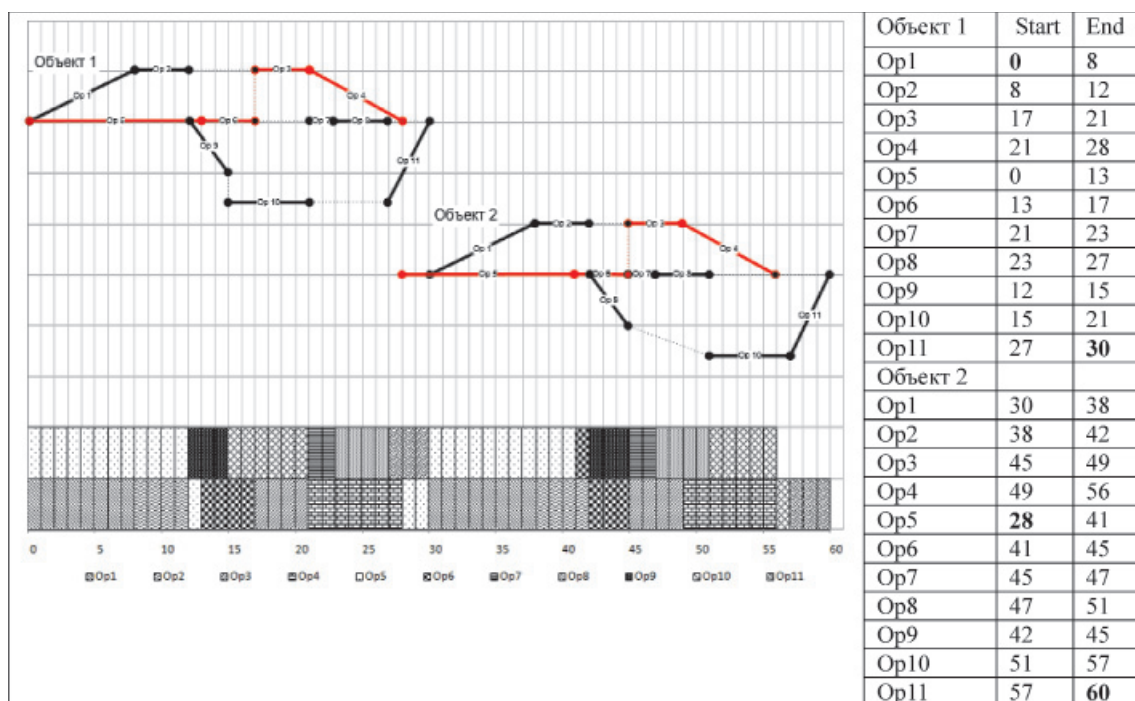


Рис. 1. Заказ «Объект 2» начинается в конце критического пути заказа «Объект 1» (выталкивающая стратегия для первого проекта, суммарная длительность портфеля 60)

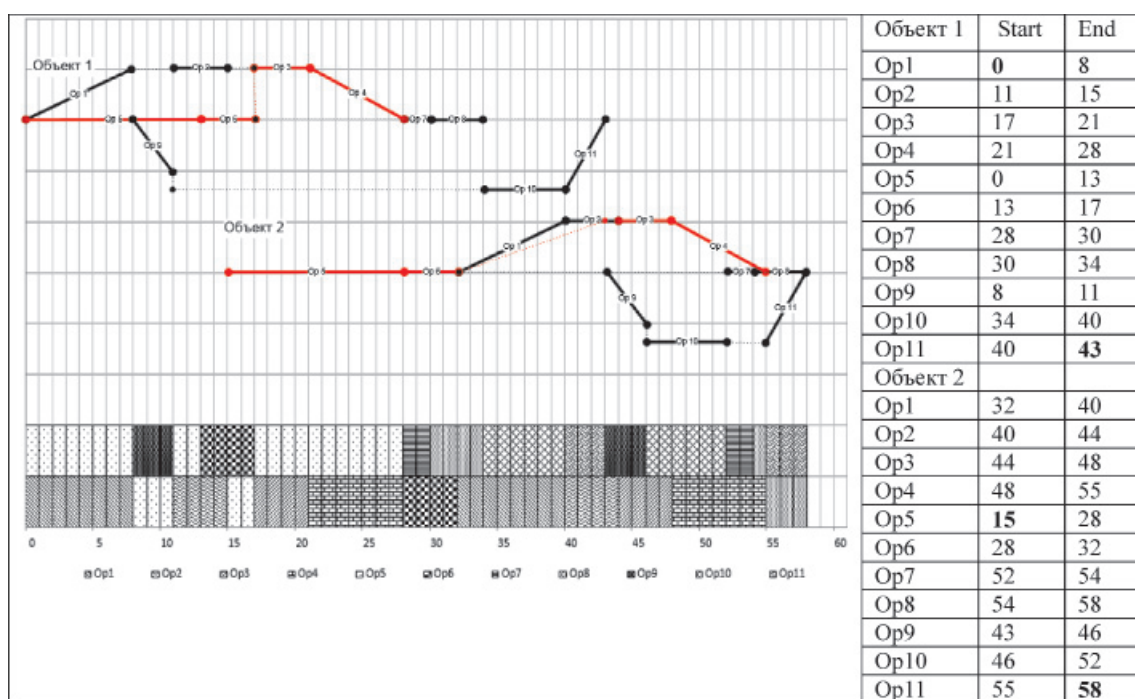


Рис. 2. Заказ «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Op2 заказа «Объект 1» (суммарная длительность портфеля 58)

В зависимости от предметной области и от конкретных условий практической задачи размеры штрафов за различные объекты и операции объектов могут отличаться. В табл. 1 проведен анализ результатов расчетов сетевых графиков

смещения объекта 2 на 12-й час (оценка штрафов проведена в единицах времени). Коэффициент использования средства определялся относительно суммарной длительности каждого варианта портфеля объектов.

Таблица 1

Результаты расчетов сетевых графиков смещения объекта 2 на 12-й час

Номер эксперимента	Время O1	Время O2	Время общее	t_Штраф O1	t_Штраф O2	t_Штраф O1 (СРМ)	t_Штраф O2 (СРМ)	U	Комментарий
1	28	31	43	0	3	0	3	0,899	без запаса резерва времени O2.Op1, O2.Op2, O2.Op6
2	28	34	46	0	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени O2.Op1, O2.Op2
3	28	30	40	0	2	0	0	0,967	
4	28	32	44	0	4	0	4	0,879	без запаса резерва времени O2.Op2
5	28	31	43	0	3	0	3	0,879	без запаса резерва времени O2.Op2
6	30	28	40	2	0	0	0	0,967	
7	33	28	40	5	0	0	0	0,967	
8	28	34	46	0	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени O2.Op1, O2.Op2
9	34	28	40	6	0	0	0	0,967	
10	32	34	46	4	6	0	6	0,841	без запаса резерва времени O2.Op1, O2.Op2
11	30	28	40	2	0	0	0	0,967	
12	33	28	40	5	0	0	0	0,967	
13	28	29	41	0	1	0	1	0,943	без запаса резерва времени O2.Op2
14	32	28	40	4	0	0	0	0,967	

Как видно из результатов, представленных в табл. 1, с точки зрения выравнивания потребления ресурса рекомендуемые правила построения имитационной модели позволяют получить достаточно хорошие показатели: коэффициент использования для различных вариантов сетевого графика, использующих смещение объекта 2 на 12-й час составляет 0,967.

Из результатов расчетов видно, что на равномерность использования ресурсов может оказывать как структура сетевого графика, так и подходы к балансировке ресурсов (включая выбор и закрепление определенной операции за ресурсом). На форму «хвоста» функции потребления ресурса сетевого графика (а соответственно, коэффициента использования) оказывает влияние пропорциональность количества параллельных операций к количеству ресурсов. При балансировке распределения ресурсов между хвостами сетевых графиков разных объектов (заказов на производство ЕП) может наблюдаться эффект увеличения сроков отдельных объектов и тем самым увеличиваться штрафное время отдельного объекта.

Также стоит отметить существование для предметной области процессов металлургического предприятия специфических объектов (потребляемых ресурсов и за-явок) с очень коротким сроком полезного

потребления (использования), к которым относится единица продукции, вышедшая после обработки на агрегате, и которая должна быть обработана на следующем агрегате, при этом температура и ее соответствующие физические параметры должны быть выдержаны в заданном диапазоне согласно технологии.

Результаты сравнения методов представлены в табл. 2. Слово «ДА» в таблице означает поддержку методом соответствующего функционала, указанного в столбце «Критерий сравнения». Данные принципы построения моделей также прошли апробацию на задаче анализа и моделирования производства изделия [7].

Таблица 2

Сравнение нового метода и метода критического пути

№ п/п	Критерий сравнения	СРМ	МППР
1.	Учет использования средств	ДА	ДА
2.	Учет потребления ресурсов	НЕТ	ДА
3.	Учет поставок ресурсов	НЕТ	ДА
4.	Учет времени жизни потребляемого ресурса	НЕТ	ДА
5.	Балансировка средств	ДА	ДА

Заключение

В данной работе на примерах расчетов сетевых графиков определены следующие дополнительные принципы (в части задания приоритетов операций, обрабатывающих заявки) построения имитационных моделей для предметных областей технологических, логистических и организационных (бизнес) процессов:

1) при построении имитационной модели процесса или портфеля заказов на производство единиц продукции необходимо классифицировать все операции по трём типам приоритетов: наивысший – для операций критического пути; средний – для операций, предшествующих операциям критического пути; низший – для остальных операций;

2) если предметная область и технологические операции допускают использование прерываний операций то при построении модели у операций могут быть использованы относительный и абсолютный приоритет, иначе – устанавливается запрет прерываний;

3) применение «выталкивающей» стратегии (FIFO) при моделировании процессов выполнения заказов на производство единиц продукции.

Полученные теоретические результаты (метод анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов) и разработанные принципы построения моделей позволили реализовать программное обеспечение модуля оптимизации процессов предприятия автоматизированной системы выпуска металлургической продукции, которое использует в своей основе методы экспертного, имитационного и мультиагентного моделирования, сетевого планирования.

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167) при финансовой поддержке работ Министерством образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Аксенов К.А., Антонова А.С., Спицина И.А., Сысолетин Е.Г., Аксенова О.П. Разработка автоматизированной системы анализа, моделирования и принятия решений для металлургического предприятия на основе мультиагентного подхода // Автоматизация в промышленности. – М., 2014. – № 7. – С. 49–53.
2. Аксенов К.А., Ван Кай, Аксенова О.П. Решение задачи планирования портфеля проектов и анализа узких мест бизнес-процесса на основе мультиагентного моделирования и метода критического пути // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: www.science-education.ru/116-12630 (дата обращения: 16.04.2015).
3. Аксенов К.А. Метод анализа и устранения узких мест мультиагентного процесса преобразования ресурсов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-18538> (дата обращения: 16.04.2015).

4. Аксенов К.А. Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 6. – С. 38–45.

5. Бородин А.М., Мирвода С.Г., Поршнев С.В. Анализ современных средств прототипирования языков программирования // Программная инженерия. – 2014. – № 12. – С. 3–10.

6. Исследование операций. Т. 2 / под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.

7. Шеклеин А.А., Аксенов К.А. Исследование производительности проблемно-ориентированных систем имитационного моделирования // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: www.science-education.ru/119-15243 (дата обращения: 15.04.2015).

8. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P. Application of Multi-agent Simulation for Decision Support in a Construction Corporation and its Comparison with Critical Path Method // Applied Mechanics and Materials Vols. 278-280 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net / AMM.278-280.2244. – P. 2244–2247.

References

1. Aksenov K.A., Antonova A.S., Spitsyna I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P. Development of automation system of analysis, modeling and decision making for metallurgical enterprises based on multi agent approach // Automation in manufacturing. Moscow, 2014. no. 7. pp.49–53.
2. Aksyonov K.A., Wang Kai, Aksyonova O.P. Integration of multi agent simulation and critical path method to solve project scheduling problem and bottleneck analysis of business processes, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. no. 2; available at: www.science-education.ru/116-12630
3. Aksenov K.A. The method of analysis and bottlenecks elimination of multi agent resources conversion process, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. no. 1; available at: <http://www.science-education.ru/121-18538>.
4. Aksenov K.A. Resources conversion process model and system analysis of organizational and technical systems, *Vestnik komputernykh i informacionnykh tekhnologiy*. 2009. no. 6. pp. 38–45.
5. Borodin A.M., Mirvoda S.G., Porshnev S.V. Analiz sovremennykh sredstv prototipirovaniya yazykov programmirovaniya, *Software Engineering*. 2014. no. 12. pp. 3–10.
6. Handbook of Operations Research. V.2. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1978. 677 p.
7. Sheklein A.A., Aksenov K.A. Performance analysis of problem-oriented simulation systems, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. no. 5; available at: www.science-education.ru/119-15243.
8. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P. Application of Multi-agent Simulation for Decision Support in a Construction Corporation and its Comparison with Critical Path Method, *Applied Mechanics and Materials*. Vols. 278–280 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.2244. pp. 2244–2247.

Рецензенты:

Поршнев С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и информационные системы», ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург;

Доросинский Л.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы радиотехники», ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

УДК 691.327.33:620.193.2

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В.

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: kaftaeva61@yandex.ru*

Рассмотрены основы повышения долговечности строительных материалов и изделий с помощью теории кольматации. Показано, что при правильном подборе состава строительного материала, который обеспечивает образование максимального количества кольматанта, можно достаточно сильно тормозить процесс коррозии. В условиях углекислотной агрессии необходимо применять высокоосновные цементы, так как при этом образуется максимальное количество CaCO_3 как кольматанта и в наибольшей степени будет проявляться эффект самоторможения реакций коррозии. Предложена схема взаимодействия гидросиликатов кальция низкой и высокой основности с углекислым газом. Рассмотрено влияние карбонизации на прочность камня из низкоосновного гидросиликата кальция группы тоберморита и двухосновного, к которым относится волокнистый гелеобразный гидросиликат C_2SH_2 и хорошо окристаллизованный $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$. Показано, что пено- и газобетон нормального, не гидротермального твердения отличаются большей атмосферостойкостью, чем газобетон из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения. Установлено, что ввод дополнительных химических добавок – ускорителей схватывания и твердения оказывает незначительное влияние на морозостойкость и атмосферостойкость пенобетонов.

Ключевые слова: газонаполненные материалы, теория кольматации, долговечность, атмосферостойкость, углекислая коррозия, карбонизация

TO THE ISSUE OF CARBON DIOXIDE CORROSION MECHANISM OF THE CONSTRUCTION MATERIALS

Anikanova T.V., Rakhimbaev S.M., Kaftaeva M.V.

State-Financed Educational Institution of Higher Professional Education «Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov», Belgorod, e-mail: kaftaeva61@yandex.ru

The basics of the increasing durability of the construction materials and products with the help of colmatation theory are considered. It is shown that the right proportioning of the construction material allows to ensure the formation of the maximum amount of colmatant, that allows to strongly inhibit the corrosion process. Thus, in the conditions of the carbon dioxide corrosion, it is required to use highly basic cements, because at these conditions the maximum amount of colmatant CaCO_3 forms and the effect of the self-inhibiting corrosion reaction of the highest degree will take place. Interaction pattern of the strong and weak basicity hydrous calcium silicates with carbon dioxide is offered. Carbonization influence on the strength of the stone of weak basicity hydrous calcium silicates from tobermorite group and dibasic, which include fibrous gel-like hydrous calcium silicate C_2SH_2 and well crystallized $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$, are considered. It is shown, that the foamed and aerated concrete of normal, not hydrothermal, solidification have a higher weatherability than aerated concrete with the lime-sand binder of autoclaved solidification. It is found, that the injection of the additional chemical additives – concrete set promoters and solidification accelerators, has an insignificant influence on the frost-resistance and weatherability of the foamed concretes.

Keywords: gas-expanded materials, colmatation theory, durability, weatherability, carbon dioxide corrosion, carbonization

Большой практический интерес представляет вопрос о поведении пенобетонных и других газонаполненных изделий и конструкций в процессе их длительной эксплуатации. В настоящее время еще не имеется достаточно экспериментальных данных и практических наблюдений об атмосферостойкости ячеистых строительных материалов.

В данной работе авторами рассматриваются вопросы атмосферостойкости газ- и пенобетонов на неорганической основе.

Одной из особенностей высокопористых газонаполненных материалов является большая поверхность их контакта с окружающей средой и в том числе с воздухом, поэтому атмосферостойкость является очень

важным их показателем, тем более что карбонизация газо- и пенобетонов сопровождается значительными собственными деформациями и напряжениями, сильно снижающими их эксплуатационные характеристики.

Согласно исследованиям, выполненным под руководством Ю.М. Бутта [4], гидросиликаты кальция тоберморитовой группы, состав которых приближается к $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, или $\text{CSH}(\text{B})$ и ксонотлит по номенклатуре Бога, или CSH-I по номенклатуре Тейлора, отличаются малой стойкостью в условиях углекислотной агрессии. Этим определяется недостаточная атмосферостойкость силикатного кирпича и изделий

из плотного силикатного бетона. Авторы [4] провели сравнительные исследования коррозии образцов из плотного и поризованного силикатного бетона автоклавного твердения. Было установлено, что последние корродируют в разы быстрее. Это и неудивительно, так как рост пористости образцов увеличивает скорость всех коррозионных процессов. Если учесть низкую атмосферостойкость плотных силикатных бетонов и силикатного кирпича, проблема долговечности газосиликатных изделий и конструкций приобретает особую значимость. Это требует принятия дорогостоящих мер по их защите от атмосферной агрессии и нормированию их применения в зависимости от климатических условий.

Эта проблема, несмотря на ее значимость, до сих пор не рассматривалась. Причины низкой стойкости низкоосновных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы (CSH(B), тоберморит, ксонотлит) в условиях углекислотной агрессии рассмотрены в теории кольматации, разработанной Ш.М. Рахимбаевым [6]. Эта же теория позволяет понять и обосновать высокую стойкость против агрессивного действия углекислого газа гидросиликатов кальция высокой основности (C_2SH_2 , CSH-II, $C_2SH(A)$, $C_2SH(B)$, $C_2SH(C)$ и другие). Первый из них обеспечивает структурообразование и твердение таких видов поробетонов, как пенобетоны и неавтоклавный газобетон.

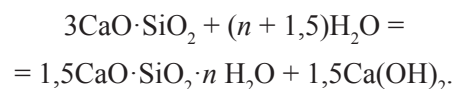
Отсюда следует, что газонаполненные материалы неавтоклавного твердения отличаются значительно более высокой стойкостью против углекислотной агрессии и обусловленной этим лучшей атмосферостойкостью, чем газобетоны автоклавного твердения.

Рассматривая сравнительную атмосферостойкость низко- и высокоосновных гидросиликатов кальция, следует подчеркнуть, что карбонизация первых сопровождается разрушением структуры твердения, обусловленной срастанием и прорастанием волокнистых и пластинчатых микрокристаллов низкоосновных гидросиликатов кальция. При этом образуется гелеобразная быстро усыхающая масса аморфной кремнекислоты, в которой «плавают» кристаллы карбоната кальция. Кристаллов $CaCO_3$ слишком мало для создания вторичной структуры твердения.

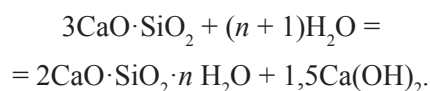
В случае же карбонизации высокоосновных гидросиликатов кальция количество образовавшейся аморфной кремнекислоты в 1,5–2 раза меньше, а кристаллов карбоната кальция – соответственно, больше, чем в предыдущем случае. В результате этого

на основе вновь образовавшихся кристаллов карбоната кальция возникает вторичная конденсационно-кристаллизационная структура твердения, которая отличается высокими физико-механическими показателями и атмосферостойкостью.

В связи с изложенным большое теоретическое и практическое значение имеет вопрос о составе гидросиликатов кальция, которые образуются при гидратации портландцемента. Издавна считается, что основность гидросиликатов кальция, которые образуются при гидратации алита и белита, близка к 2. Однако в последние 2–3 десятилетия по инициативе Х.Ф. Тейлора [9] стали писать, что она равна 1,4–1,7, в среднем 1,5. Реакцию гидратации алита принято писать следующим образом:



В результате такой реакции при полной гидратации алита должно выделиться 37% свободного гидроксида кальция. В действительности его количество не превышает 25%, что соответствует реакции:

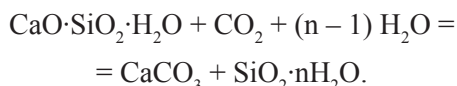


В своем учебнике, выпущенном в последние годы [10], Тейлор признал, что основность гидросиликатов в цементном камне находится в пределах 1,7–2.

Теоретические основы повышения долговечности строительных материалов и изделий путем оптимизации их состава отражены в теории кольматации [6], согласно которой процессы химической коррозии строительных материалов и изделий в большинстве случаев сопровождаются образованием малорастворимых в воде продуктов реакции компонентов цементного камня с агрессивными агентами, содержащимися в окружающей среде. Эти продукты обычно откладываются в зоне реакции и в той или иной степени кольматируют ее, то есть закупоривают поры материала, по которым идет диффузия агрессивных агентов. В связи с этим такие реакции являются в той или иной степени самотормозящимися. Чем обильнее и плотнее слой продуктов реакции – кольматантов, тем сильнее тормозится диффузия агрессивного агента вглубь изделия. В связи с этим, правильно подобрав состав строительного материала, который обеспечивает образование максимального количества кольматанта, можно достаточно сильно тормозить процесс коррозии.

Как следует из данных работы [8], кольматант создает не только чисто механическое сопротивление на пути агрессивных ионов. При этом большую роль играют электрокинетические явления. Так, поры кремнегеля мало проницаемы для анионов, а геля $Mg(OH)_2$ – для катионов.

При карбонизации гидросиликатов кальция тоберморитовой группы $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$, которые являются основными связующими в газосиликатном бетоне автоклавного твердения, происходит следующая реакция:



Оба эти продукта реакции отличаются очень низкой растворимостью в воде, поэтому оба выполняют функцию кольматанта. Однако количественное соотношение $CaCO_3$ к SiO_2 составляет приблизительно 5 к 1, поэтому основным кольматантом в данных условиях является карбонат кальция. Следовательно, в условиях углекислотной агрессии необходимо применять высокоосновные цементы, так как при этом образуется максимальное количество $CaCO_3$ как кольматанта и в наибольшей степени будет проявляться эффект самоторможения реакций коррозии (рис. 1).

единственным кольматантом является гель кремнекислоты $SiO_2 \cdot nH_2O$. Естественно, в этих условиях более стойкими являются низкоосновные цементы.

Для решения вопроса о влиянии состава вяжущего на атмосферостойкость газонаполненных материалов рассмотрим данные табл. 1 о влиянии карбонизации на прочность камня из низкоосновного гидросиликата кальция группы тоберморита и двухосновного, к которым относится волокнистый гелеобразный гидросиликат C_2SH_2 и хорошо окристаллизованный $C_2SH(A)$ [3].

Из приведенных данных видно, что после тепловой обработки камень из тоберморита значительно прочнее, чем из двухосновного гидросиликата кальция. Однако после карбонизации атмосферным углекислым газом камень из низкоосновного гидросиликата кальция теряет прочность, а из высокоосновного гидросиликата кальция, наоборот, повышает ее. Тоберморит является основным связующим газобетона из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, а двухосновный гидросиликат кальция – пенобетона неавтоклавного твердения из портландцемента Цем. I, а также Цем. IIА по ГОСТ 31108 – 2003.

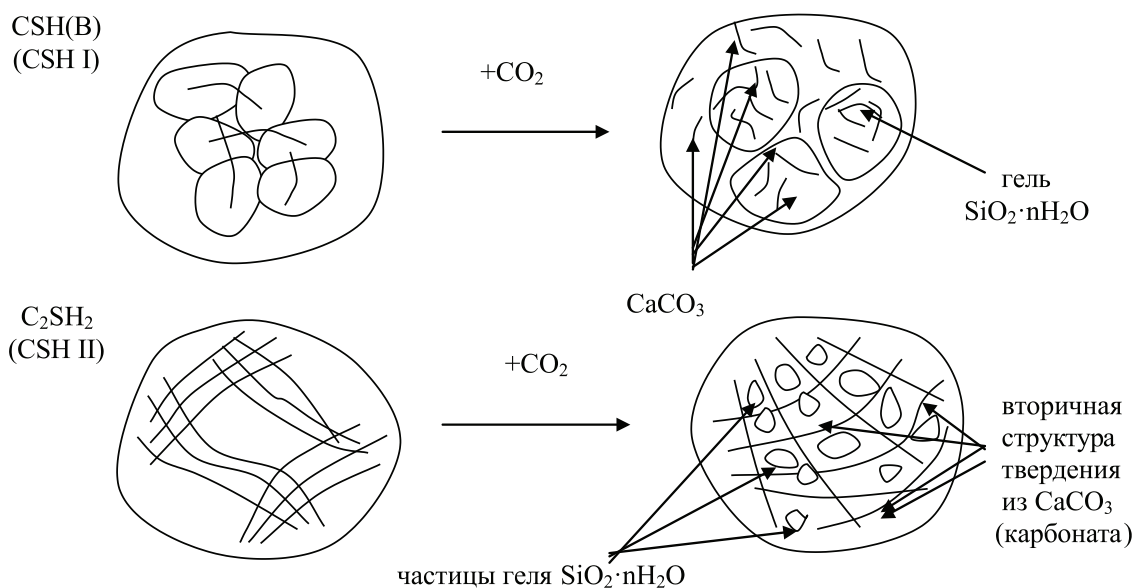


Рис. 1. Предполагаемая схема взаимодействия гидросиликатов кальция низкой и высокой основности с углекислым газом

При кислотной же коррозии, в том числе в водных растворах углекислого газа, под влиянием растворов HCl либо коррозии выщелачивания, когда ионы кальция удаляются из зоны реакции в окружающую среду в виде хорошо растворимых соединений,

С помощью уравнения теории [5, 7] переноса рассчитали кинетические константы средней плотности и предела прочности при сжатии гидросиликатов кальция при хранении на воздухе и в среде углекислого газа.

Таблица 1

Свойства гидросиликатов кальция при хранении на воздухе и в среде углекислого газа

Гидросиликаты кальция	Средняя плотность в кг/м³ через			Предел прочности (в МПа) при					
	1 сут.	3 мес.	6 мес.	сжатии через			изгибе через		
				1 сут.	3 мес.	6 мес.	1 сут.	3 мес.	6 мес.
Искусственная карбонизация									
CSH(B)	1070	1300	1330	2,65	2,06	1,92	0,40	0,37	0,31
Ксонотлит	0750	1160	1200	1,55	1,73	2,03	0,87	0,81	0,77
C ₂ SH(A)	720	960	1110	0,04	0,51	0,55	0,02	0,33	0,53
C ₂ SH(C)	710	1140	1180	0,13	0,81	0,95	0,18	0,22	0,25
На воздухе									
CSH(B)	1070	1220	1330	2,65	2,25	2,03	0,40	0,37	0,35
Ксонотлит	750	890	960	1,55	1,78	1,99	0,87	0,93	0,90
C ₂ SH(A)	720	850	920	0,04	0,30	0,35	0,02	0,28	0,30
C ₂ SH(C)	710	750	850	0,13	0,35	0,36	0,18	0,30	0,33

Константы кинетики усадки были рассчитаны по уравнениям теории переноса [9]:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma} \right)_0 + k_1 \cdot \sigma; \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma} \right)_0 + k_2 \cdot \tau, \quad (2)$$

где τ – время твердения, сут; σ – предел прочности при сжатии, МПа; $(\tau/\sigma)_0$ – величина, обратная начальной скорости твердения (гидратации), сут/МПа; k_1 и k_2 – коэффициенты торможения процесса твердения (гидратации).

Уравнение (1) описывает кинетические процессы, происходящие с экстенсивным торможением во времени, уравнение (2) – с интенсивным торможе-

нием. Результаты расчета представлены в табл. 2 и 3.

Начальная скорость роста средней плотности у CSH(B) при искусственной карбонизации примерно в 2 раза выше, чем у ксонотлита, в то же время коэффициент торможения ниже, чем у остальных гидросиликатов. Ксонотлит существенно устойчивее CSH(B), особенно в отдаленные сроки, а еще более устойчивее высокоосновные гидросиликаты (C₂SH(A), C₂SH(C)), их начальная скорость еще меньше, а коэффициент торможения выше. Изменение коэффициента торможения говорит о том, что при повышении основности снижается активность взаимодействия при искусственной карбонизации. На воздухе разница начальной скорости сглаживается, коэффициенты торможения всех гидросиликатов довольно близки.

Таблица 2

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения средней плотности гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , (кг/м ³)/сут	$k_{\text{тор}^2}$, (кг/м ³) ⁻¹	$k_{\text{кор}}$
Искусственная карбонизация			
CSH(B)	1478,43	0,0008	0,9999
Ксонотлит	777,94	0,0008	0,9998
C ₂ SH(A)	227,21	0,0009	0,9966
C ₂ SH(C)	731,71	0,0008	0,9998
На воздухе			
CSH(B)	454,92	0,0008	0,9987
Ксонотлит	368,21	0,001	0,999
C ₂ SH(A)	338,6	0,0011	0,9989
C ₂ SH(C)	202,98	0,0012	0,9971

Таблица 3

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при сжатии гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация			
Ксонотлит	0,37	0,4916	0,995
C ₂ SH(A)	0,02	1,1007	0,9543
C ₂ SH(C)	0,09	1,0153	0,9966
На воздухе			
Ксонотлит	0,52	0,5016	0,9977
C ₂ SH(A)	0,03	2,7328	0,9972
C ₂ SH(C)	0,15	2,7502	0,9999

Коэффициент торможения при карбонизации на воздухе увеличивается у всех рассматриваемых гидросиликатов, это говорит о том, что процесс карбонизации будет со временем интенсивно замедляться. У CSH(B) происходило снижение прочности, поэтому производили расчет интенсивности падения прочности (табл. 4).

Результаты исследований долговечности гидросиликатов кальция показывают, что расчеты, произведенные по пределу прочности при сжатии являются недостаточно точными, согласно этим расчетам ксонотлит является атмосферостойким, однако данные предела прочности при изгибе говорят об обратном. Отсюда следует вывод о том, что предел прочности при изгибе является более чувствительным при оценке долговечности. Предел прочности при изгибе уже на ранних сроках позволяет сделать вывод о долговечности того или иного

гидросиликата, тогда как для такой оценки про пределу прочности при сжатии нужны более длительные испытания. Результаты расчета влияния карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при изгибе CSH(B) и ксонотлита приведены в табл. 5.

Для C₂SH(A) и C₂SH(C) рассчитывали влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе во времени (табл. 6).

Влияние карбонизации на воздухе на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе для ксонотлита рассчитать не удалось из-за того, что прочность сначала растет, а затем снижается, возможно, это связано с неточностью испытаний, так как предел прочности при сжатии все время увеличивался, а при искусственной карбонизации увеличивался и предел прочности при изгибе.

Таблица 4

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при сжатии CSH(B) во времени

CSH(B)	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация	0,02	1,0448	1
На воздухе	0,01	0,7258	1

Таблица 5

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при изгибе CSH(B) во времени

CSH(B)	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация	0,02	1,1111	0,6547
На воздухе	0	20	0,9333

Таблица 6

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация			
Ксонотлит	0	3,3333	1
C ₂ SH(A)	0,01	1,6164	0,954
C ₂ SH(C)	0,06	3,9903	0,997
На воздухе			
Ксонотлит	0	50	1
C ₂ SH(A)	0,02	3,0724	0,9998
C ₂ SH(C)	0,09	3,0157	0,9985

Основность связана с содержанием гидроксида кальция в системе, только при повышении основности и приближении ее к 2 создается вторичная структура, которая повышает прочность. У низкоосновных гидросиликатов вторичная структура не образуется. Из изложенного следует вывод, что пено- и газобетон нормального, не гидротермального твердения отличаются большей атмосферостойкостью, чем газобетон из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, что подтверждается экспериментальными данными [3].

Авторами [3] показано, что на долговечность ячеистых бетонов большое влияние оказывает их внутренняя структура. Увеличение объема мелких пор в изделиях повышает их морозостойкость, стойкость в агрессивных средах. Необходимо стремиться к уменьшению размера пор в материале, поскольку это повышает долговечность изделий.

Авторы [1] помещали газосиликатные образцы на крышу зданий и хранили их в течение 3 месяцев, предел прочности образцов в течение 3 месяцев непрерывно увеличивался. Результаты испытаний, проведенных Ю.А. Баталиным и Б.А. Новиковым [1], представим в табл. 7.

Образцы, выпиленные из газосиликатных плит со средней плотностью 580 кг/м³, хранились в условиях г. Алма-Аты. Следует отметить, что первые три месяца наблюдается рост прочности образцов, что обусловлено образованием вторичной структуры твердения на основе частиц карбоната кальция.

Большой интерес для оценки атмосферостойкости представляет работа Е.В. Бау-

тиной [2], в которой исследовалась долговечность конструкционного газобетона, со средней плотностью 700–1000 кг/м³ в климатических условиях города Воронежа. Стеновые блоки из этого материала прослужили в многоэтажных домах в течение 44 лет, при этом существенных повреждений изделий не отмечено.

В связи с недостаточной изученностью атмосферостойкости теплоизоляционного пенобетона на синтетических пенообразователях автором произведены исследования атмосферостойкости пенобетонных образцов в климатических условиях Белгородской области. Исследования проводились путем натурных испытаний в условиях воздействия осадков, повышенных до +40°C и пониженных до –30°C температурах.

В атмосферных условиях на материалы одновременно оказывают действие несколько агрессивных факторов, поэтому для определения атмосферостойкости пенобетонные образцы хранили на открытом воздухе. Образцы размером 40×40×160 мм изготавливались с использованием бездобавочного белгородского цемента ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2003. В качестве пенообразователя применяли «Пеностром», рабочая концентрация 0,1 % масс. Образцы-балочки изготавливались методом «сухой минерализации пены». Образцы были помещены на крышу одноэтажного жилого дома в Вейделевском районе Белгородской области. Пенобетонные образцы хранились в атмосферных условиях 24 месяца. Результаты испытаний представлены в табл. 8.

Таблица 7

Предел прочности при сжатии (в МПа) газосиликатных образцов при различных условиях хранения

Место хранения	После запаривания	1 мес.	2 мес.	3 мес.
На открытом воздухе	2,69	2,76	3,25	4,22
В лаборатории	2,69	3,14	3,01	3,75

Таблица 8

Средняя плотность (кг/м^3) и предел прочности при сжатии (МПа) пенобетонных образцов, хранившихся в атмосферных условиях

Состав	Время									
	28 сут. (н.у.)		1 мес.		6 мес.		12 мес.		24 мес.	
	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен.	358	0,57	391	0,67	393	0,89	410	0,94	433	0,87
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен. + 0,3 % поташ М	359	0,57	475	1,04	476	1,36	516	1,38	455	1,16

Из табл. 8 следует, что предел прочности при сжатии и плотность образцов увеличиваются в течение года. После 12 месяцев идет падение прочности, однако по прошествии двух лет предел прочности при сжатии выше, чем у исходных образцов. Анализируя характер атмосферных условий, можно считать, что в начальные сроки (до 6 месяцев) образцы находились в более благоприятных атмосферных условиях, т.е. в этом периоде средняя температура воздуха оказалась положительной, а относительная влажность и суммы осадков были незначительны (май – ноябрь). В последующие сроки (от 6 до 10 месяцев, от ноября до марта) образцы претерпевали действие отрицательных температур при большом количестве осадков. В январе и феврале температура опускалась до -35°C . На втором году хранения в атмосферных условиях образцы претерпевали действие высоких температур

(в мае – июле температура достигала $+40^\circ\text{C}$ на солнце) (www.gismeteo.ru). После 1-го года хранения в атмосферных условиях внешних изменений в образцах не наблюдалось (отсутствие микротрещин, высолов и т.п.).

На рис. 2 представлено изменение предела прочности при сжатии образцов, хранившихся на открытом воздухе. Видно, что рост прочности наблюдается в первые шесть месяцев, далее прочность образцов изменяется незначительно. После года испытаний процесс изменения прочности в образцах практически прекратился.

Прочностные изменения в образцах говорят о том, что пенобетон без добавки поташа более устойчив к действию атмосферных условий. Для более точной оценки влияния атмосферных условий на образцы из пенобетона используем уравнение теории переноса [7]. Результаты расчета представим в табл. 9.

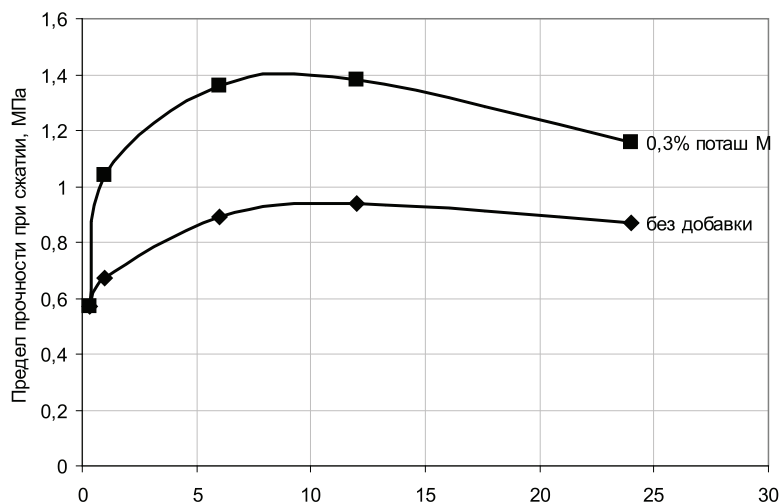


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии пенобетонных образцов при хранении на открытом воздухе

Таблица 9

Влияние состава материала на кинетические константы при хранении в атмосферных условиях

Состав	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	$k_{\text{гор}}$, МПа $^{-1}$	$k_{\text{кор}}$
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен.	0,06	1,0167	0,9998
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен. + 0,3 % поташ М	0,06	0,6677	0,996

Из табл. 9 видно, что начальная скорость карбонизации образцов с добавкой поташ М и без добавки одинакова. Наибольший коэффициент торможения имеют образцы, не содержащие добавку ($k_{\text{тор}} = 1,0167 \text{ МПа}^{-1}$). Это говорит о том, что процесс карбонизации в этих образцах будет сильнее замедляться во времени.

В целом на основе литературных данных, а также исследований автора можно сделать вывод, что пенобетоны, с плотностью 300–400 кг/м³ обладают удовлетворительной атмосферостойкостью. Добавка поташ М оказала незначительное влияние на атмосферостойкость.

На основе известных экспериментальных данных о твердении в среде углекислого газа гидросиликатов кальция различной основности можно утверждать, что пенобетонные изделия неавтоклавного твердения из бездобавочных портландцементов типа ЦЕМ I превосходят по атмосферостойкости газосиликаты той же плотности. Поскольку имеется опыт успешной эксплуатации изделий из конструкционного газосиликата в течение 40–45 лет в условиях средней полосы России, есть основания предположить, что пенобетонные изделия той же плотности будут еще более долговечными.

Произведенные натурные испытания в климатической зоне Белгородской области образцов из пенобетона со средней плотностью 400 кг/м³ в течение двух лет, когда имели место десятки циклов замораживания-оттаивания, увлажнения-высушивания при температурах от +40 до –30 °С показали, что ввод дополнительных химических добавок – ускорителей схватывания и твердения оказывает незначительное влияние на морозостойкость и атмосферостойкость.

Список литературы

1. Баталин Ю.А. Освоение производства ячеистых силикатных бетонов на Ступинском заводе / Ю.А. Баталин, Б.А. Новиков // Строительные материалы. – 1961. – № 6. – С. 7–11.
2. Баутина Е.В. Оценка состояния ячеистого силикатного бетона в ограждающих конструкциях жилых зданий с длительным сроком эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Воронеж, ВГАСУ, 2006. – 26 с.
3. Бутт Ю.М. Долговечность автоклавных силикатных бетонов / Ю.М. Бутт, К.К. Куатбаев. – М.: Стройиздат, 1966. – 216 с.
4. Бутт Ю.М. Карбонизация гидросиликатов кальция / Ю.М. Бутт, А.А. Майер, Л.Н. Рашкович, О.И. Грачева, Д.М. Хейкер // Сборник трудов РосНИИМС. – 1960. – № 17. – 236 с.
5. Рахимбаев Ш.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толыпина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 23–24.
6. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цемента для использования в условиях химической агрессии // Изв. Вуз: Строительство. – 1998. – № 10. – С. 65–68.
7. Рахимбаев Ш.М. Расчет констант скорости некоторых процессов технологии искусственных строительных конгломератов // Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. – Белгород: Изд-во БТИСМ, МИСИ, 1990. – С. 184–187.
8. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2005. – 36 с.
9. Тейлор Х.Ф. Гидросиликаты кальция // Труды V международного конгресса по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1973. – 480 с.
10. Тейлор Х.Ф. Химия цемента. – М.: Стройиздат, 1998. – 520 с.
1. Batalin Yu.A. Osvoenie proizvodstva yacheistyyh silikatnykh betonov na Stupinskom zavode / Yu.A. Batalin, B.A. Novikov // Stroitelnye materialy. 1961. no. 6. pp. 7–11.
2. Bautina E.V. Otsenka sostoyaniya yacheistogo silikatnogo betona v ograzhdayushih konstruksiyah zhilykh zdaniy s dlitelnyim srokom ekspluatatsii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05 / Bautina Elena Vladimirovna; Voronezh, VGASU. 2006. 26 p.
3. Butt Yu.M. Dolgovechnost avtoklavnykh silikatnykh betonov / Yu.M. Butt, K.K. Kuatbaev. M.: Stroyizdat, 1966. 216 p.
4. Butt Yu.M. Karbonizatsiya gidrosilikatov kaltsiya / Yu.M. Butt, A.A. Mayer, L.N. Rashkovich, O.I. Gracheva, D.M. Heyker // Sbornik trudov RosNIIMS. 1960. no. 17. 236 p.
5. Rahimbaev Sh.M. Metody otsenki korrozionnoy stoykosti tsementnykh kompozitov / Sh.M. Rahimbaev, N.M. Tolyipina // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2012. no. 3. pp. 23–24.
6. Rahimbaev Sh.M. Printsipy vyibora tsementov dlya ispolzovaniya v usloviyah himicheskoy agressii / Sh.M. Rahimbaev // Izv. Vuzov: Stroitelstvo. 1998. no. 10. pp. 65–68.
7. Rahimbaev Sh.M. Raschet konstant skorosti nekotorykh protsessov tehnologii iskusstvennykh stroitelnykh konglomeratov // Problemy materialovedeniya i sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva stroitelnykh izdeliy. Belgorod: Izd-vo BTISM, MISI. 1990. pp. 184–187.
8. Rozental N.K. Korrozionnaya stoykost tsementnykh betonov nizkoy i osobo nizkoy pronitsaemosti: avtoref. diss. ... d-ra tehn. nauk, Moskva, 2005. 36 p.
9. Teylor H.F. Gidrosilikaty kaltsiya // Trudy V mezhdunarodnogo kongressa po himii tsementa. M.: Stroyizdat, 1973. 480 p.
10. Teylor H. F. Himiya tsementa. M.: Stroyizdat, 1998. 520 p.

Рецензенты:

Ильина Т.Н., д.т.н., профессор кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород;

Лесовик Р.В., д.т.н., профессор кафедры «Строительное материаловедение, изделия и конструкции», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород.

УДК 534.1

О ДИАГНОСТИКЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗ СТРУН ПО КОНЕЧНОМУ НАБОРУ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

^{1,2}Ахтямов А.М., ²Аксенова З.Ф.

¹ФГБУН «Институт механики Уфимского НЦ РАН им. Р.Р. Мавлютова»,
Уфа, e-mail: AkhtyamovAM@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: aksenovazf@yandex.ru

Рассматривается механическая колебательная система в виде графа из трех ребер-струн с одной общей вершиной. Струны графа являются однородными и имеют одинаковую длину. Все три тупиковых вершины графа упруго закреплены и в местах закрепления сосредоточены массы. Вся система колеблется, как батут. Решается задача определения значений коэффициентов жесткости пружинок и сосредоточенных масс по конечному числу собственных частот этой механической системы. Показывается, что 9 собственных частот достаточно для нахождения коэффициентов жесткости пружинок и сосредоточенных масс с точностью до перестановок закреплений на тупиковых концах механической системы местами. Находится метод решения этой обратной задачи, доказывается теорема и приводится соответствующий пример. Полученные результаты могут быть применены как для проектирования, так и для диагностики виброзащитных систем, а также условий заземления электрических сетей.

Ключевые слова: виброзащитные системы, собственные частоты, обратная задача, граф, электрические сети, условия заземления электрических сетей

ON DIAGNOSTICS OF STRINGS MECHANICAL SYSTEM FROM THE FINITE SET OF EIGENVALUES

^{1,2}Akhtyamov A.M., ²Aksenova Z.F.

¹Institute of Mechanics Ufa Scientific Center Russian Academy of Sciences,
Ufa, e-mail: AkhtyamovAM@mail.ru;

²Bashkir State University, Ufa, e-mail: aksenovazf@yandex.ru

A mechanical vibrations system is considered. This system is a string graph that has three edges and a common vertex. The strings of graph are homogeneous. Lengths of the edges are the same. All three dead-locked vertexes of the graph are elastically fixed. Masses are concentrated at these vertexes. The system is vibrated like a trampoline. The problem of determination of springs elasticity coefficients and the concentrated masses of this mechanical system from a finite number of natural frequencies is solved. It is shown that Nine natural frequencies is suffice for determining of springs elasticity coefficients and the concentrated masses up to permutations of fixing seats of the mechanical system. The method of solution of this inverse problem is found, a theorem is proved and corresponding example is given. The results can be used both for planning and for diagnostics of vibroprotection systems and grounding conditions of electrical networks.

Keywords: vibration protection systems, natural frequencies, inverse problem, graph, electrical networks, conditions of electrical networks

Целью настоящей статьи является восстановление сосредоточенных масс и коэффициентов жесткости пружин, сосредоточенных на тупиковых вершинах звездного струнного графа, по известному набору собственных частот колебаний этого графа. Дифференциальные операторы на графах часто возникают в естествознании и технике [11]. Прямые спектральные задачи решались в работах [6, 8, 15], так же решались обратные спектральные задачи (см., например, [9, 12, 14]), в том числе на графах [13]. Однако существенным отличием этих работ от данной является то, что коэффициенты дифференциальных уравнений и краевых условий восстанавливаются не по части спектра, а по нескольким спектрам и (или) по некоторым другим спектральным характеристикам. К тому же основной целью этих работ является восстановление коэф-

фициентов в уравнении, а не в краевых условиях. Идентификации краевых условий спектральных задач по собственным значениям в механических и электронных системах посвящена работа [3], однако рассматриваемая нами задача там не изучалась. В [5] восстанавливались коэффициенты граничных условий оператора Штурма – Лиувилля по всему спектру (а не по конечному набору собственных частот). Близкая задача рассматривалась в работе [10], но для электрических систем. Это задача идентификации условий заземления через последовательно сосредоточенные самоиндукцию и емкости конденсатора. Восстанавливаются 6 параметров краевых условий по 6 собственным значениям, однако в этом случае получают лишние решения, которых не будет, если известно большее число собственных значений задачи. В работах [1, 2, 3]

восстанавливались только сосредоточенные массы или только жесткости пружинок на концах струнного графа, а не все параметры одновременно.

В данной работе рассматривается задача идентификации сосредоточенных масс и коэффициентов жесткости пружин, сосредоточенных на тупиковых вершинах звездного струнного графа по известному набору собственных частот. Из-за общности уравнений для электрических колебаний в проводе [4, 7] и механических колебаний струны результаты, представленные в данной работе для механической системы, справедливы и для подобной электрической системы. Для электрической сети сосредоточенным массам на концах струнного графа соответствуют индуктивности, а обратные величины коэффициентов упругости (жесткостей) пружин, закрепляющего концы графа, соответствуют емкостям.

Результаты, полученные в данной работе, позволяют получать механические системы с заданным спектром колебаний, проектировать виброзащитные системы, сохраняющие приборы от ударного воздействия, проводить диагностику таких систем, а также диагностировать условия заземления электрических сетей на участках, труднодоступных для визуального осмотра.

Постановка обратной задачи. Рассмотрим граф G в виде звезды из n ребер-струн с одним общим концом в нуле. Длина i -й струны равна l_i . Тупиковые концы струн упруго закреплены, причем каждая из струн может быть закреплена пружинками неодинаковой жесткости h_i . В местах упругого закрепления подвешены-сосредоточены массы m_i . Требуется определить сосредоточенные массы m_i и коэффициенты жесткости пружин h_i струнного графа по собственным частотам колебаний графа. Ниже для наглядности изложения этот метод решения приводится для случая $n = 3$.

Спектральная задача для каждого ребра колеблющегося графа имеет вид

$$y''(x_i) + \lambda \cdot y(x_i) = 0, 0 \leq x_i \leq l_i, i = 1, 2, 3, (1)$$

где x_i – расстояние от общего узла по оси OX_i ; $y(x_i)$ – вертикальные смещения с выходом из плоскости начального расположения струнного графа, а $s = \sqrt{\lambda}$ – спектральный параметр.

Точка O ($x_i = 0$) является свободной (подвижной). Условия в точке O имеют вид [3]

$$y_1(0) = y_2(0) = y_3(0); \quad (2)$$

$$y_1'(0) + y_2'(0) + y_3'(0) = 0. \quad (3)$$

Краевые условия на тупиковых вершинах таковы:

$$y'(l_i) + (h_i - m_i \cdot s^2) \cdot y_i(l_i) = 0, i = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Формулы (2) выражают условия непрерывности, а (3) – баланс сил, действующих на общую вершину графа (точку O – узел) со стороны каждого из примыкающих к узлу ребер, условия (4) – условия упругого закрепления ребер (струн) с сосредоточенными массами.

Математически в терминах введенных обозначений сформулируем постановку задачи.

Постановка задачи: Пусть $l_i = 1$ ($i = 1, 2, 3$). Требуется найти h_i и m_i по известному набору собственных значений s_k задачи (1)–(4).

Метод введения дополнительных неизвестных. Перед решением этой обратной задачи напомним, как решается прямая задача нахождения собственных значений.

Решением уравнения (1) является следующая функция:

$$y(x_i) = c_{i1} \cos(sx_i) + c_{i2} \frac{\sin(sx_i)}{s}, \quad (5)$$

где c_{i1} и c_{i2} – произвольные константы. Подставляя функции (5) в (2)–(4) соответственно, получим, что собственные значения s_k задачи (1)–(4) находятся из частотного уравнения

$$\sum_{i=1}^n \frac{s \cdot \sin(l_i s) - (h_i - s^2 m_i) \cos(l_i s)}{\cos(l_i s) + (h_i - s^2 m_i) \frac{\sin(l_i s)}{s}} = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Изложим теперь метод решения обратной задачи. Система уравнений (6) при $s = s_k$ ($k = 1, 2, \dots$) является нелинейной относительно неизвестных h_i ($i = 1, 2, 3$) и m_i ($i = 1, 2, 3$). И если для определения 6 неизвестных h_i и m_i использовать также 6 собственных значений, то, как правило, помимо диагностируемых данных окажутся и другие лишние решения. Система может иметь $6! = 720$ наборов решений, из которых достаточно трудоемко исключить лишние решения. Но при решении вышеуказанной задачи машина зависает при расчете, поскольку нужно выдать 720 вариантов наборов 6 параметров. Поэтому для решения этой задачи предложен следующий численный метод – метод введения дополнительных неизвестных. С помощью введения дополнительных неизвестных приведем уравнение (6) к линейному виду:

$$x_1 f_1(s) + x_2 f_2(s) + x_3 f_3(s) + x_4 f_4(s) + x_5 f_5(s) + x_6 f_6(s) + x_7 f_7(s) + x_8 f_8(s) + x_9 f_9(s) + f_0(s) = 0, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} x_1 &= h_1 + h_2 + h_3; \quad x_2 = m_1 + m_2 + m_3; \quad x_3 = h_2 h_3 + h_3 h_1 + h_2 h_1; \\ x_4 &= (h_1(m_2 + m_3) + h_2(m_1 + m_3) + h_3(m_1 + m_2)); \quad x_5 = m_3 m_1 + m_2 m_1 + m_3 m_2; \quad x_6 = h_1 h_2 h_3; \\ x_7 &= m_1 m_2 m_3; \quad x_8 = h_2 h_1 m_3 + h_3 h_1 m_2 + h_3 h_2 m_1; \quad x_9 = m_3 m_2 h_1 + m_3 m_1 h_2 + m_2 m_1 h_3; \\ f_0(s) &= 3 \cdot s^3 \cos^2(s) \sin(s); \quad f_1(s) = 2 \cdot s^2 \cos(s) \sin^2(s) - s^2 \cos^3(s); \\ f_2(s) &= s^4 \cos^3(s) - 2 \cdot s^4 \cos(s) \sin^2(s); \quad f_3(s) = s \cdot \sin^3(s) - 2 \cdot s \cdot \cos^2(s) \sin(s); \\ f_4(s) &= 2 \cdot s^3 \cos^2(s) \sin(s) - s^3 \sin^3(s); \quad f_5(s) = s^5 \sin^3(s) - 2 \cdot s^5 \cos^2(s) \sin(s); \\ f_6(s) &= -3 \cos(s) \sin^2(s); \quad f_7(s) = 3 \cdot s^6 \cos(s) \sin^2(s); \\ f_8(s) &= 3 \cdot s^2 \cos(s) \sin^2(s); \quad f_9(s) = -3 \cdot s^4 \cos(s) \sin^2(s). \end{aligned} \quad (8)$$

Функции $f_0(s), f_1(s), f_2(s), f_3(s), f_4(s), f_5(s), f_6(s), f_7(s), f_8(s), f_9(s)$ являются линейно независимыми функциями аргумента s (по определению линейной независимости функций).

Пусть $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9$ – собственные значения задачи (1)–(4) подставим их в (7). В результате получим систему девяти линейных уравнений от девяти неизвестных $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$:

$$\begin{aligned} x_1 f_1(s_k) + x_2 f_2(s_k) + x_3 f_3(s_k) + x_4 f_4(s_k) + x_5 f_5(s_k) + \\ + x_6 f_6(s_k) + x_7 f_7(s_k) + x_8 f_8(s_k) + x_9 f_9(s_k) + f_0(s_k) = 0, \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. \end{aligned} \quad (10)$$

Из правил Крамера следует, что если определитель матрицы

$$D = \begin{vmatrix} f_1(s_1) & f_2(s_1) & f_3(s_1) & f_4(s_1) & f_5(s_1) & f_6(s_1) & f_7(s_1) & f_8(s_1) & f_9(s_1) \\ f_1(s_2) & f_2(s_2) & f_3(s_2) & f_4(s_2) & f_5(s_2) & f_6(s_2) & f_7(s_2) & f_8(s_2) & f_9(s_2) \\ f_1(s_3) & f_2(s_3) & f_3(s_3) & f_4(s_3) & f_5(s_3) & f_6(s_3) & f_7(s_3) & f_8(s_3) & f_9(s_3) \\ f_1(s_4) & f_2(s_4) & f_3(s_4) & f_4(s_4) & f_5(s_4) & f_6(s_4) & f_7(s_4) & f_8(s_4) & f_9(s_4) \\ f_1(s_5) & f_2(s_5) & f_3(s_5) & f_4(s_5) & f_5(s_5) & f_6(s_5) & f_7(s_5) & f_8(s_5) & f_9(s_5) \\ f_1(s_6) & f_2(s_6) & f_3(s_6) & f_4(s_6) & f_5(s_6) & f_6(s_6) & f_7(s_6) & f_8(s_6) & f_9(s_6) \\ f_1(s_7) & f_2(s_7) & f_3(s_7) & f_4(s_7) & f_5(s_7) & f_6(s_7) & f_7(s_7) & f_8(s_7) & f_9(s_7) \\ f_1(s_8) & f_2(s_8) & f_3(s_8) & f_4(s_8) & f_5(s_8) & f_6(s_8) & f_7(s_8) & f_8(s_8) & f_9(s_8) \\ f_1(s_9) & f_2(s_9) & f_3(s_9) & f_4(s_9) & f_5(s_9) & f_6(s_9) & f_7(s_9) & f_8(s_9) & f_9(s_9) \end{vmatrix} \quad (11)$$

системы уравнений (10) отличен от нуля, то неизвестные $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$ находятся единственным образом по формулам $x_j = \frac{D_j}{D}$ ($j = 1, 2, \dots, 9$), где D_j – определитель матрицы, получаемый заменой j -го столбца столбцом свободных членов.

Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. Если $s_1, s_2, \dots, s_9$ являются точными собственными значениями краевой задачи (1)–(4), $D \neq 0$, то система (10) имеет единственное решение $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$, определяемое по формулам

Крамера $x_j = \frac{D_j}{D}$ ($j = 1, 2, \dots, 9$), а значения коэффициентов жесткости пружин h_1, h_2, h_3 и сосредоточенных масс m_1, m_2, m_3 на-

ходятся с точностью до перестановок закреплений на тупиковых концах механической системы местами по формулам (8).

Пример. Пусть

$$s_1 = 0.5351947856; \quad s_2 = 0.7209194738;$$

$$s_3 = 1.7077687399; \quad s_4 = 3.2007784617;$$

$$s_5 = 4.7562882600; \quad s_6 = 6.312233015;$$

$$s_7 = 7.8802149625; \quad s_8 = 9.4440741650;$$

$$s_9 = 11.0142910657$$

являются собственными значениями краевой задачи L и длины струн $l_1 = l_2 = l_3 = 1$. Требуется найти $h_1, h_2, h_3, m_1, m_2, m_3$.

Решая систему линейных уравнений (7), получим

$$\begin{aligned}x_1 &= 6.00012454515180; \quad x_2 = 11.0002292716576; \quad x_3 = 6.00012584636183; \\x_4 &= 15.0002729440572; \quad x_5 = 74.0013465243788; \quad x_6 = 120.002183553839; \\x_7 &= 58.0011800634226; \quad x_8 = 51.0010534591865; \quad x_9 = 138.002713340072.\end{aligned}$$

Подставляя $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$ в (8), получим 36 наборов решений, из которых только 6 наборов являются искомыми:

1. $\{h_1 = 3.00027942412555, h_2 = 1.00001056019994, h_3 = 1.99983456082631, m_1 = 6.00196131492730, m_2 = 4.00058303446869, m_3 = 4.99772859466121\}$;
2. $\{h_1 = 1.99983456082631, h_2 = 1.00001056019994, h_3 = 3.00027942412555, m_1 = 4.99772859466121, m_2 = 4.00058303446869, m_3 = 6.00196131492730\}$;
3. $\{h_1 = 3.00027942412555, h_2 = 1.99983456082631, h_3 = 1.00001056019994, m_1 = 6.00196131492730, m_2 = 4.99772859466121, m_3 = 4.00058303446869\}$;
4. $\{h_1 = 1.00001056019994, h_2 = 1.99983456082631, h_3 = 3.00027942412555, m_1 = 4.00058303446869, m_2 = 4.99772859466121, m_3 = 6.00196131492730\}$;
5. $\{h_1 = 1.99983456082631, h_2 = 3.00027942412555, h_3 = 1.00001056019994, m_1 = 4.99772859466121, m_2 = 6.00196131492730, m_3 = 4.00058303446869\}$;
6. $\{h_1 = 1.00001056019994, h_2 = 3.00027942412555, h_3 = 1.99983456082631, m_1 = 4.00058303446869, m_2 = 6.00196131492730, m_3 = 4.99772859466121\}$.

Итак, закрепления на тупиковых концах механической системы мы можем восстановить с точностью до перестановок их местами по 9 собственным значениям, используя новый метод – метод введения дополнительных неизвестных. В то время как если рассматривать граф из трех струн и восстанавливать одновременно и сосредоточенные массы и коэффициенты жесткости пружин (6 параметров) на концах струнного графа по 6 собственным значениям, то получим 6! или 720 наборов решений, из которых достаточно трудоемко исключить лишние решения. И при решении задачи машина зависает при расчете, поскольку нужно выдать 720 вариантов наборов 6 параметров.

Список литературы

1. Аксенова З.Ф., Ахтямов А.М. Акустическая диагностика сосредоточенных масс на концах струнного графа с упругим закреплением на концах // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Т. 19, № 1. – С. 14–18.
2. Ахтямов А.М., Аксенова З.Ф. Восстановление сосредоточенных масс на тупиковых вершинах струнного графа // В мире научных открытий. – 2013. – № 2.1 (38). – С. 56–67.
3. Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий и ее приложения. – М.: Физматлит, 2009. – 272 с.
4. Ахтямов А.М., Ямилова Л.С. Идентификация условий замыкания провода по собственным частотам колебаний напряжения переменного тока // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2006. – Т. 11, № 2–3. – С. 15–17.

5. Валеев Н.Ф., Рабцевич С.А., Нугуманов Э.Р. О задаче определения параметров граничных условий оператора Штурма-Лиувилля по спектру // Вестник СамГУ. Серия: Естественнонаучная. – 2009. – № 6 (72). – С. 12–20.

6. Кадченко С.И. Численный метод решения обратных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами, методом регуляризованных следов // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2013. – № 6 (107).

7. Какушкин С.Н. Математическое моделирование спектральной задачи об электрических колебаниях в протяженной линии методом регуляризованных следов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2013. – Т. 6, № 3.

8. Капустин Н.Ю. О классической задаче с комплекснозначным коэффициентом и спектральным параметром в граничном условии // Дифференциальные уравнения. – 2012. – Т. 48, № 10. – С. 1361–1367.

9. Левитан Б.М. Обратные задачи Штурма-Лиувилля. – М.: Наука, 1984. – 240 с.

10. Мартынова Ю.В. Модельная обратная спектральная задача для оператора Штурма-Лиувилля на геометрическом графе // Вестник Башкирского университета. – 2011. – Т. 16, № 1. – С. 4–10.

11. Покорный Ю.В., Пенкин О.М. и др. Дифференциальные уравнения на геометрических графах. – М.: Физматлит, 2004. – 272 с.

12. Садовничий В.А., Султанаев Я.Т., Ахтямов А.М. Обратные задачи Штурма-Лиувилля с нераспадающимися краевыми условиями. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. – 184 с.

13. Юрко В.А. Введение в теорию обратных спектральных задач. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 384 с.

14. Benedek A.I., Panzone R. Problemas de contorno para ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden con condiciones de borde dependientes del parametro spectral // Trab. Mat. Inst/ argent. mat, 1983. – № 53. – P. 1–21.

15. Kapustin N.Yu., Moiseev E.I. Spectral problems with the spectral parameter in the boundary condition // *Differential Equations*. – 1997. – Т. 33, № 1. – С. 116–120.

References

1. Aksenova Z.F., Ahtyamov A.M. Akusticheskaya diagnostika sosredotochennykh mass na kontcakh strunnogo grafa s uprugim zakrepleniem na kontcakh // *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2014. Т. 19, no. 1. pp. 14–18.

2. Ahtyamov A.M., Aksenova Z.F. Vosstanovlenie sosredotochennykh mass na tupikovykh verшинakh strunnogo grafa // *V mire nauchnykh otkrytiy*. 2013. no. 2.1 (38). pp. 56–67.

3. Ahtyamov A.M. Teoriya identifikatsii kraevykh usloviy i ee prilozheniya. M.: Fizmatlit, 2009. 272 p.

4. Ahtyamov A.M., Yamilova L.S. Identifikatsiya usloviy zamykaniya provoda po sobstvennym chastotam kolebaniy napyazheniya peremennogo toka // *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy*. 2006. Т. 11, no. 2–3, pp. 15–17.

5. Valeev N.F., Rabceevich S.A., Nugumanov E.R. O zadache opredeleniya parametrov granichnykh usloviy operatora Shturma-Liuvillya po spektru // *Vestnik SamGU. Seriya: Estestvennonauchnaya*. 2009. no. 6 (72). pp. 12–20.

6. Kadchenko S.I. Chislenny metod resheniya obratnykh zadach, porozhdennykh vozmushchennymi samosopryazhennymi operatorami, metodom regulyarizovannykh sledov // *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya*. 2013. no. 6 (107).

7. Kakushkin S.N. Matematicheskoe modelirovanie spektralnoy zadachi ob elektricheskikh kolebaniyakh v protyazhennoy linii metodom regulyarizovannykh sledov // *Vestnik YuUr-GU. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programirovanie*. 2013. Т. 6, no. 3.

8. Kapustin N.Yu. O klassicheskoy zadache s kompleksnoznachnym koefitsientom i spektralnym parametrom v granichnom uslovii // *Differentsialnye uravneniya*. 2012. Т. 48, no. 10. pp. 1361–1367.

9. Levitan B.M. Obratnye zadachi Shturma-Liuvillya. M.: Nauka, 1984. 240 p.

10. Martynova Yu. V. Modelnaya obratnaya spektralnaya zadacha dlya operatora Shturma-Liuvillya na geometricheskom grafe // *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2011. Т. 16, no. 1. pp. 4–10.

11. Pokornyy Yu.V., Penkin O.M. i d.r. Differentsialnye uravneniya na geometricheskikh grafakh. M.: Fizmatlit, 2004. 272 p.

12. Sadovnichiy V.A., Sultanaev Ya.T., Ahtyamov A.M. Obratnye zadachi Shturma-Liuvillya s nerazpadayushimisya kraevymi usloviyami. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2009. 184 p.

13. Jurko V.A. Vvedenie v teoriyu obratnykh spektralnykh zadach. M.: FIZMAT-LIT, 2007. 384 p.

14. Benedek A.I., Panzone R. Problemas de contorno para ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden con condiciones de borde dependientes del parametro spectral // *Trab. Mat. Inst/ argent. mat*, 1983. no. 53. pp. 1–21.

15. Kapustin N.Yu., Moiseev E.I. Spectral problems with the spectral parameter in the boundary condition // *Differential Equations*. 1997. Т. 33, no. 1. pp. 116–120.

Рецензенты:

Спивак С.И., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой математического моделирования, ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Уфа;

Султанаев Я.Т., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Механика твердого тела», ФГБУН «Институт механики им. Р.Р. Мавлютова» Уфимского научного центра Российской академии наук, г. Уфа.

УДК 664.681:664.761

ПОВЫШЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

¹Боташева Х.Ю., ²Лукина С.И., ²Пономарева Е.И.¹ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия», Черкесск;²ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, e-mail: elena6815@yandex.ru

Приведены результаты исследования показателей качества и пищевой ценности кексов, приготовленных из нетрадиционных видов муки, позволяющих повысить биотехнологический потенциал изделий. В работе предусматривали внесение муки нутовой, рисовой и ячменной взамен муки пшеничной по рецептуре кекса «Столичный». Разработанные изделия – кекс «Ароматный» с применением муки нутовой и рисовой (70:30), кекс «Атлет» с применением муки нутовой и ячменной (80:20) – характеризовались высокими органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими показателями качества. Отмечен привлекательный желтый цвет изделий в изломе, на 30–40% увеличен их удельный объем, снижена щелочность. Применение нетрадиционных видов муки оказывало положительное влияние на формирование структурно-механических свойств и содержание ароматобразующих веществ готовых изделий при выпечке. Разработанные изделия характеризовались повышенной пищевой ценностью и выгодно отличались от традиционного изделия (кекс «Столичный»). В среднем содержание белка увеличено на 40%, пищевых волокон – в 1,5–2,5 раза, содержание усвояемых углеводов уменьшено на 15%. В 2–2,5 раза возросло содержание микронутриентов: калия, кальция, магния, фосфора, железа, йода, селена, витаминов группы В, РР. Повышена биологическая (в среднем на 9%) и снижена энергетическая ценность данного вида изделий. Гликемический индекс разработанных кексов имеет средние значения (65–66%) и более низкие по сравнению с традиционным изделием (80%). Изделия рекомендованы для включения в рацион питания населения с целью обогащения его растительным белком, пищевыми волокнами, микронутриентами.

Ключевые слова: нетрадиционные виды муки, показатели качества, пищевая ценность, мучные кондитерские изделия, кексы

INCREASE OF BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS

¹Botasheva K.Y., ²Lukina S.I., ²Ponomareva E.I.¹North Caucasus State of Humanities and Technological Academy, Cherkessk;²Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: elena6815@yandex.ru

The results of the study of quality factors and the nutritional value of muffins made from non-traditional types of flour that improve the biotechnological potential of products are given. The work included the usage of chick-pea, rice and barley flour instead of wheat flour for Stolichnii cake recipes. The developed products, such as Aromatnii cupcake with chick-pea and rice flour (70:30), Athlete cupcake with chick-pea and barley flour (80:20) are characterized by high organoleptical, physico-chemical and structural-mechanical properties. The baked product has an attractive yellow color at the cut, its specific volume has increased by 30–40% and alkalinity has reduced. The use of non-traditional types of flour has had a positive influence on the formation of structural and mechanical properties and content of aroma-producing substances in finished products during baking. The developed products are characterized by increased nutritional value and favorably differed from traditional products (e.g. Stolichnii cupcake). The average protein content has increased by 40%, fiber – in 1,5–2,5 times, digestible carbohydrates have reduced by 15%. The content of micronutrients: potassium, calcium, magnesium, phosphorus, iron, iodine, selenium, vitamins B, PP, has increased in 2–2,5 times. The energy value of this type of product has been reduced; on the other hand, the biological value has been enlarged (by an average of 9%). The glycemic index of cupcakes is 65–66% on average and lower in comparison with the conventional ones (80%). The baked products are recommended to be part the diet in order to enrich it with phytilbumin, fiber and micronutrients.

Keywords: non-traditional types of flour, quality factors, nutritional value, flour confectionery products, cupcakes

Мучные кондитерские изделия включают в себя большую группу пищевых продуктов разнообразного ассортимента: печенье, кексы, пряники, вафли, торты и др. В основном при их производстве наряду с пшеничной сортовой мукой используют высококалорийные и питательные ингредиенты, такие как сахар, жир, яйцепродукты, молочные продукты, которые обуславливают высокую энергетическую ценность этих

изделий. Достаточной биологической ценностью большинство мучных кондитерских изделий не обладают, так как биологически активные вещества либо отсутствуют в основном сырье, либо разрушаются в процессе приготовления под действием высоких температур. В них выявлено повышенное содержание углеводов и жиров, неоптимальное соотношение основных пищевых веществ. Практически все углеводы в таких изделиях

простые и легкоусвояемые, жиры чаще всего насыщенные, а следовательно, плохо усваиваются организмом. В то же время в них практически отсутствуют необходимые витамины, микро- и макроэлементы, органические кислоты и пищевые волокна [1, 4].

Основной задачей хлебопекарной и кондитерской промышленности сегодня является разработка технологий производства качественно новых продуктов функционального назначения, потребление которых будет способствовать профилактике и укреплению здоровья россиян. С целью повышения пищевой и биологической ценности мучных кондитерских изделий целесообразна замена муки пшеничной сортовой на нетрадиционные виды муки (нутовую, рисовую, ячменную), каждая из которых характеризуется повышенным содержанием белка, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), пищевых волокон и/или микронутриентов (табл. 1).

на основании анализа органолептических и физико-химических показателей качества.

В работе применяли следующие методы исследования: органолептическую оценку изделий проводили по ГОСТ 5897-90; влажность кексов – по ГОСТ 2194-75; щелочность – по ГОСТ 5898-87; удельный объем – по методике, описанной в пособии [8]; структурно-механические показатели исследовали на реометрическом информационно-измерительном комплексе в условиях одноосного сжатия цилиндрической выемки мякиша.

Проведенный анализ органолептических показателей качества выпеченных изделий показал, что кексы, приготовленные на основе нетрадиционных видов муки, не уступали контролю: имели выпуклую поверхность, равномерную пористость, вкус и запах, свойственные данному виду изделий. Менее выраженным бобовым привкусом и запахом обладал образец с нутовой и ячменной мукой.

Таблица 1

Средний химический состав нетрадиционных видов муки в сравнении с пшеничной [7]

Наименование показателей	Содержание пищевых веществ (%) в 100 г муки			
	пшеничной хлебопекарной высшего сорта	нутовой	ячменной	рисовой
Белок, г	10,3	20,1	10,0	7,4
Жир, г	1,1	4,3	1,6	0,6
в т.ч. ПНЖК	0,51	1,82	0,26	0,21
Углеводы усвояемые, г	70,6	46,2	57,6	80,2
в т.ч. крахмал	68,5	43,2	55,1	79,1
Пищевые волокна, г	3,5	12,4	15,4	2,3
Зола, г	0,5	3,0	1,4	0,5

Использование в кондитерской промышленности нетрадиционных видов муки из бобовых и злаковых культур позволит не только повысить пищевую ценность мучных кондитерских изделий, интенсифицировать технологический процесс, добиться экономии ресурсов, но и придать продуктам лечебно-профилактическую направленность.

Целью работы явилось определение показателей качества и пищевой ценности кексов, приготовленных из нетрадиционных видов муки, позволяющих повысить биотехнологический потенциал изделий.

Исследованы образцы кексов: 1 – «Столичный» (контроль); 2 – «Ароматный» с применением нутовой и рисовой муки в соотношении 70:30; 3 – «Атлет» с применением нутовой и ячменной муки в соотношении 80:20. Внесение нетрадиционных видов муки проводили взамен муки пшеничной (по сухому веществу) по рецептуре кекса «Столичный» [6]. Соотношение различных видов муки в рецептуре кексов определено по результатам пробных лабораторных выпечек

Для объективной оценки цвета изделий определяли интенсивность окраски с помощью сканерометрического метода с применением компьютерной обработки изображений в цветовом режиме RGB [5]. Метод основан на измерении значений трех цветовых компонентов (красного – R, зеленого – G и синего – B), от соотношения которых зависит интенсивность окраски: $(R + G + B)/3$. Чем выше интенсивность, тем светлее изделие (максимальное значение 255 усл. ед. – абсолютно белый цвет). Выявлено (рис. 1), что содержание красной компоненты цвета преобладало в контрольном образце, для него характерен более светлый цвет изделия в изломе. При этом интенсивность окраски (по отношению к белому цвету) контрольного образца составила 190 усл. ед., что на 14 и 16% больше, чем образцов 2 и 3 соответственно. Наиболее привлекательный желтый цвет отмечен в образце 2 (кекс «Ароматный»), о чем свидетельствует уменьшение синего цвета по сравнению с контролем.

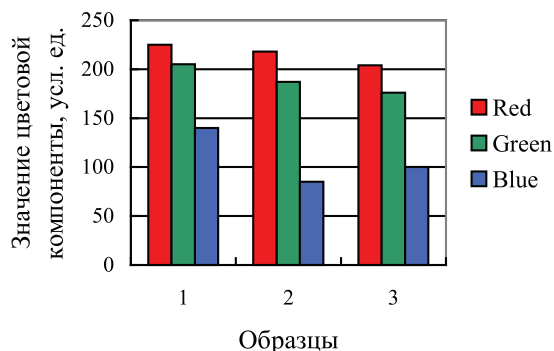


Рис. 1. Цветовые компоненты образцов кексов в изломе:
1 – «Столичный»; 2 – «Ароматный»; 3 – «Атлет»

В разработанных изделиях определяли содержание ароматобразующих веществ на анализаторе запахов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» [2]. Выявлено (табл. 2), что при использовании в рецептуре кекса нутовой и ячменной муки снизилось содержание некоторых легколетучих компонентов (кислот, кислородсодержащих циклических и ароматических углеводородов), увеличилось содержание спиртов, эфиров, кетонов. При применении нутовой и рисовой муки в наибольшей степени усиливалась интенсивность аромата изделия.

Физико-химические показатели кексов существенно различались (табл. 3). Наибольшие значения удельного объема имели разработанные образцы кексов. Так, кекс «Ароматный» превосходил контроль на 30 %, а «Атлет» – на 40 %. Наибольшей упругостью и наименьшей пластичностью характеризовался кекс «Ароматный», наибольшей эластичностью – «Столичный» и «Атлет».

В целом внесение нетрадиционных видов муки оказывает положительное влияние на формирование органолептических, физико-химических и структурно-механических свойств кексов.

Сравнительная оценка химического состава изделий показала (табл. 4), что наибольшее содержание белка и биологическую ценность имели кексы, приготовленные из нетрадиционных видов муки. Кроме того, они выгодно отличались от традиционного изделия (кекс «Столичный») по содержанию усвояемых углеводов (в среднем оно уменьшено на 15 %), пищевых волокон (увеличено в 1,5–2,5 раза), микронутриентов (в 2–2,5 раза возросло содержание калия, кальция, магния, фосфора, железа, йода, селена, витаминов В₁, В₂, В₆ и РР). На 37–47 % повышен коэффициент биологической эффективности жиров, снижена энергетическая ценность данного вида изделий.

Таблица 2

Относительное содержание отдельных групп легколетучих веществ

Наименование групп соединений	Содержание веществ (%) в кексах		
	«Столичный» (контроль)	«Ароматный»	«Атлет»
Свободная влага	28,3	37,8	34,7
Ароматические соединения	7,0	7,7	10,0
Циклические кислородсодержащие соединения	8,6	6,5	9,2
Летучие кислоты	17,1	15,5	16,3
Азотсодержащие соединения	8,6	8,5	8,8
Сложные эфиры	2,7	3,7	3,3

Таблица 3

Показатели качества кексов

Показатели качества	Значение показателей качества кексов		
	«Столичный» (контроль)	«Ароматный»	«Атлет»
Физико-химические			
Влажность, %	24,0	28,0	25,5
Щелочность, град	1,8	1,6	1,6
Удельный объем, см ³ /100 г	192	274	322
Относительные структурно-механические			
Упругость, %	57,8	67,0	52,7
Эластичность, %	37,5	29,8	36,7
Пластичность, %	4,7	3,2	10,6

Таблица 4

Показатели пищевой ценности кексов

Наименование показателя	Значение показателей кексов		
	«Столичный» (контроль)	«Ароматный»	«Атлет»
Содержание, г/100 г продукта: белка	5,6	7,4	8,3
углеводов усвояемых	48,2	41,3	40,5
пищевых волокон	1,5	2,4	3,7
Биологическая ценность, %	71,4	80,0	79,6
Коэффициент биологической эффективности жиров	0,19	0,26	0,28
Энергетическая ценность, кДж/100 г	1642	1561	1600

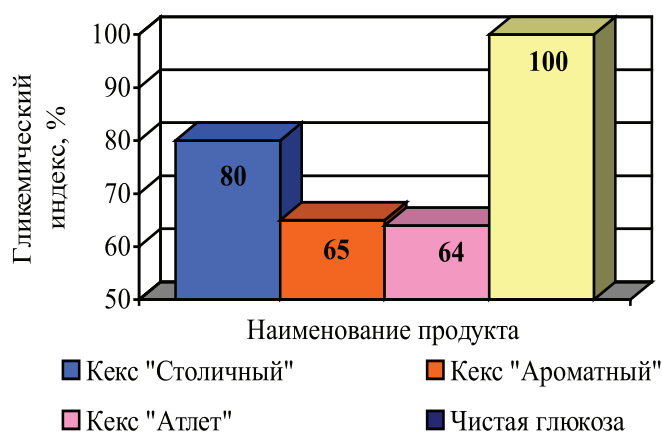


Рис. 2. Гликемический индекс продуктов

Анализ разработанных изделий на антиоксидантную активность проводили на приборе «ЦветЯуза-01-АА». Установлено, что суммарное содержание антиоксидантов в кексах «Ароматный» и «Атлет» составило соответственно 1,9 и 2,1 мг/100 г, что значительно больше, чем в кексе «Столичный» (0,4 мг/100 г). Нутовая мука, составляющая 70–80 % от общей массы муки в опытных образцах кексов, содержит в своем составе витамины-антиоксиданты (β-каротин, аскорбиновую кислоту), микроэлементы (селен, цинк, медь, марганец и железо), серосодержащие аминокислоты (метионин, цистеин), а также флавоноиды, обладающие антиоксидантными свойствами.

Мучные кондитерские изделия тестировали на интенсивность расщепления углеводов путем определения гликемического индекса (ГИ), отражающего скорость адсорбции углеводов в организме [3]. За эталон принята глюкоза, гликемический индекс которой равен 100 %. Установлено (рис. 2), что максимальной способностью повышать уровень кон-

центрации глюкозы в крови среди испытуемых образцов характеризовался кекс «Столичный» из пшеничной муки высшего сорта, минимальной – кекс «Атлет» из муки нутовой и ячменной и кекс «Ароматный» из муки нутовой и рисовой. Состав разработанных изделий отличается наибольшим количеством пищевых волокон, которые изменяют степень всасываемости питательных веществ, связывают желчную кислоту, уменьшают реабсорбцию, ингибируют активность пищевых амилаз, что способствует снижению гликемического эффекта.

Результаты исследования показали целесообразность применения в рецептуре кексов нетрадиционных видов муки, таких как нутовая, рисовая, ячменная, способствующих получению изделий высокого качества, повышенной пищевой и биологической ценности, со средним гликемическим индексом. Изделия рекомендованы для включения в рацион питания населения с целью обогащения его растительным белком, пищевыми волокнами, микронутриентами.

Список литературы

1. Кузнецова А.С., Сиданова М.Ю. Анализ рецептур, технологии производства и пищевой ценности кексов // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2009. – № 10. – С. 6–8.
2. Кучменко Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле : учеб. пособие / Воронеж. гос. технол. акад., ООО «СенТех». – Воронеж, 2009. – 252 с.
3. Лобыткина Е.Н., Колтун В.З., Хвостова О.И. Гликемический индекс продуктов питания и использование его в диетотерапии ожирения // Вопросы питания. – Т. 76. – № 1. – 2007. – С. 14–21.
4. Магомедов Г.О., Олейникова А.Я., Шевякова Т.А. Технология мучных кондитерских изделий: учеб. пособие. – М.: ДеЛипринт, 2009. – 296 с.
5. Нетрадиционные виды муки в технологии кексов / С.И. Лукина и др. // Хлебопродукты. – № 10. – 2013. – С. 44–45.
6. Сборник рецептур на торты, пирожные, кексы, рулеты, печенье, пряники, коврижки и сдобные булочные изделия / В.Т. Лапшина, Г.С. Фонарева, С.Л. Ахиба; под ред. А.П. Антонова. – М.: Хлебпродинформ, 2000. – 720 с.
7. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: Справочник / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
8. Технология хлебобулочных изделий (лабораторный практикум) / Е.И. Пономарева и др. – Воронеж, 2014. – 280 с.

References

1. Kuznecova A.S., Sidanova M.Ju. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo*, 2009, no. 10. pp. 6–8.
2. Kuchmenko T.A. *Innovacionnye reshenija v analiticheskom kontrole* (Innovative solutions in analytical control). Voronezh, 2009. 252 p.

3. Lobytkina E.N., Koltun V.Z., Hvostova O.I. *Voprosy pitaniya*, 2007, Vol. 76, no. 1. pp. 14–21.

4. Magomedov G.O., Olejnikova A.Ja., Shevjakova T.A. *Tehnologija mучnyh konditerskih izdelij* (Technology of flour confectionery products). Moscow, 2009. 296 p.

5. Lukina S.I., Zhuravlev A.A., Sadygova M.K., Tolmacheva S.V. *Hleboprodukty*, 2013, no. 10. pp. 44–45.

6. Lapshina V.T., Fonareva G.S., Ahiba S.L., Antonov A.P. *Sbornik receptur na torty, pirozhnye, keksy, rulety, pechene, prjaniki, kovrizhki i sдобnye bulochnye izdelija*. Moscow, 2000. 720 p.

7. Skurihin I.M., Tuteljan V.A. *Tablicy himicheskogo sostava i kalorijnosti rossijskih produktov pitaniya* (Tables of chemical composition and caloric content Russian food products). Moscow, 2007. 276 p.

8. Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alehina N.N., Maljutina T.N., Voropaeva O.N. *Tehnologija hlebobulochnyh izdelij* (Technology of bakery products). Voronezh, 2014. 280 p.

Рецензенты:

Шевцов А.А., д.т.н., профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж;

Тертычная Т.Н., д.с.-х.н., доцент, профессор кафедры технологии переработки растениеводческой продукции, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», г. Воронеж.

УДК 621.001.5+004.89.002.53

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Володин К.И., Горюнова В.В., Горюнова Т.И.

*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет»,
Пенза, e-mail: gvv17@ya.ru*

В статье рассматриваются вопросы использования систем комплексной безопасности в учреждениях здравоохранения. Особое внимание уделяется комплексным системам безопасности с интегрированными подсистемами видеонаблюдения, контроля доступа и охранной сигнализации. Приведены теоретические аспекты применения беспроводных сенсорных сетей при реализации систем комплексной безопасности. Развертывание БСС осуществляется предельно просто, поскольку моты являются автономными устройствами и прокладки кабелей не требуется. Моты могут быть помещены в заранее определенные места или распределены случайным образом. Способность узлов БСС к самоорганизации гарантирует создание сети в случае выполнения единственного условия: связности. Даются практические рекомендации по созданию и применению программного обеспечения беспроводных сенсорных сетей на основе пакетов MATLAB&Simulink, а также ряд пакетов расширений (toolboxes) для MATLAB&Simulink, таких как Instrument Control Toolbox, MATLAB Coder, Simulink Coder, Embedded Coder и другие.

Ключевые слова: системы комплексной безопасности, беспроводные сенсорные сети, программное обеспечение, учреждения здравоохранения

THE DEVELOPMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORKS SOFTWARE FOR SOLVING PROBLEMS OF COMPLEX SAFETY IN HEALTH CARE

Volodin K.I., Goryunova V.V., Goryunova T.I.

Penza State Technological University, Penza, e-mail: gvv17@ya.ru

In the article we have considered actual issues of the of integrated security systems in health care. Particular attention is paid to an integrated security system with integrated subsystems CCTV, access control and alarm systems. The theoretical aspects of wireless sensor networks in the implementation of integrated security systems. Practical recommendations for the creation and application software, wireless sensor networks based on packet MATLAB & Simulink. Deploying WST is more than simple, because MOTS are autonomous devices and cabling is not required. MOTS can be placed in a predetermined place or randomly distributed. The ability to self-organize nodes CST ensures the creation of a network, in the case of performance conditions only: cohesion. In the article we have given a practical recommendations for the development and use of wireless sensor networks software on the basis of MATLAB&Simulink. and a number of extensions package (toolbox) for MATLAB Simulink, such as the Instrument Control Toolbox, MATLAB Coder, Simulink Coder, Embedded Coder and others.

Keywords: integrated security system, wireless sensor networks, software, health care

Растущий спрос на медицинские услуги, бюджетные ограничения, а также конкретные требования безопасности усложняют функционирование больниц. В тех случаях, когда сложные процессы в больнице оптимально взаимодействуют с её технической инфраструктурой, больница становится экономически выгодным предприятием, а пациенты и персонал получают больше безопасности и комфорта. Большие больницы, как правило, состоят из нескольких зданий, куда приходят большое число людей с разными целями. В отличие от офисных зданий и промышленных объектов, в больницах много сложных технических систем и дорогостоящего оборудования. Кроме того, там находятся пациенты с ограниченной подвижностью, а в большую часть здания доступ практически открыт. Такое сочетание имеет ряд рисков, которые требуют комплексных мер безопасности.

Система комплексной безопасности в отделениях медицинских учреждений

Комплексная система позволяет решать следующие задачи:

- охранное видеонаблюдение за территорией, входами и внутренними помещениями больницы, а также возможность видеонаблюдения за ходом проведения хирургических операций;

- архивирование тревожных событий, вызовов из палат, ведение журнала вызовов и создание видеоархива, в том числе и из операционных;

- срочный вызов медицинского персонала к пациенту в больничную палату и контроль оперативности работы младшего медицинского персонала;

- разграничение доступа персонала и посетителей в помещения больницы, а также регистрация и учет посетителей и больных;

– автоматическое открытие въездных ворот для машин скорой помощи, регистрация времени въезда/выезда;

– пожарная охрана (охранная и пожарная сигнализация).

Большим спросом в учреждениях здравоохранения пользуются комплексные системы безопасности с интегрированными подсистемами видеонаблюдения, контроля доступа и охранной сигнализации. Для функционирования больницы крайне необходимы многие периферийные системы – слежения за пациентами, защиты младенцев от похищения, системы пожаротушения и жизнеобеспечения. Управляющее программное обеспечение позволяет использовать систему контроля доступа как основу общей системы безопасности, включая видеонаблюдение. Управляющее программное обеспечение тегировало видео (т.е. маркирует, сопровождает тегами); поэтому, когда двери открываются, к этому видео добавляется электронный индекс. Пользователи просто нажимают на это событие, и необходимость в многочасовом просмотре видеозаписей отпадает.

Прежде чем принять решение, по которому будет выстраиваться система безопасности больницы, необходимо провести всеобъемлющую оценку рисков. Для этого составляется список всех отделений и определяется уровни угроз в каждом из них; проводится опрос руководителей отделений, в ходе которого выясняются существующие и потенциальные угрозы. На следующем этапе планируются возможные меры защиты для каждого отделения. После этого переходят к разработке генерального плана. Когда план будет готов, его проверяют в реальных условиях. При этом типичными уязвимыми зонами являются следующие:

1. Помещение кассы: любая комната, где хранят и считают наличные, должна быть постоянно заперта.

2. Администрация и отдел кадров: все личные дела персонала и медицинские карты пациентов хранятся здесь.

3. Аптека: все тележки и шкафы с лекарственными препаратами вне аптек должны быть на одной ключевой системе. Охранная сигнализация, контроль доступа.

4. Психиатрическое отделение: здесь находятся медицинские карты, содержащие сверхконфиденциальную информацию, часто связанную с уголовными делами, а также рецептурные лекарства.

5. Отделение для новорожденных: Необходимы система видеонаблюдения и пост охраны. Применение технологии RFID для защиты новорожденных от подмены и похищений.

6. Травматологическое отделение, отделение экстренной помощи: могут стать местом бандитских разборок и семейных конфликтов. Рекомендуются CCTV и охрана VIP-пациентов.

7. Гериатрическое отделение (устройства для обнаружения местоположения пациентов, CCTV).

8. Операционные (контроль доступа, тревожная сигнализация, CCTV).

9. Лаборатория (контроль доступа, тревожная сигнализация, CCTV).

10. Морг (контроль доступа, охранная сигнализация, CCTV).

11. Инструментальный склад.

12. Требуют внимания такие места, как автостоянка (освещение, контроль доступа, CCTV на лестницах, тревожная сигнализация), пищеблок (тревожная сигнализация), торговые киоски (охранная сигнализация), дебаркадеры (CCTV, патрулирование), помещения для хранения биологически опасных отходов (CCTV, контроль доступа).

Управление доступом в больнице может изменяться в зависимости от типа здания, его устройства и назначения помещений. Гардеробные, серверные помещения и важное техническое оборудование должны охраняться постоянно. Другие помещения имеют свободный доступ в дневное время, а в ночное время они доступны только авторизованным посетителям (с пропусками или смарт-картами). В другие зоны, в свою очередь, право доступа предоставляется только врачам и младшему медицинскому персоналу. Возможна взаимозависимость между различными дверями, например, дверь может открываться только после того, как другая закроется. В целом доступ в любую зону может контролироваться в зависимости от времени, места и цели посещения.

Разработка приложений для беспроводных сенсорных сетей (БСС)

Беспроводная сенсорная сеть представляет собой совокупность миниатюрных вычислительных устройств, снабженных датчиками и способных к передаче данных по радиоканалам. Эти устройства называются «мотами» (от английского mote – «пылинка»). Важным элементом сети является базовая станция (или шлюз), на которую поступает вся собираемая датчиками информация. На базовой станции сенсорная информация проходит предварительную обработку и передается далее в корпоративную сеть для дальнейшего анализа и использования. Моты, образующие сеть, связаны между собой беспроводными радиоканалами. Выбор маршрутов коммуникации осуществляется динамически

по алгоритмам, реализуемым протоколами связи. Передача сообщений по сети происходит поэтапно, от одного мота другому. Развертывание БСС осуществляется предельно просто, поскольку моты являются автономными устройствами и прокладки кабелей не требуется. Моты могут быть помещены в заранее определенные места или распределены случайным образом. Способность узлов БСС к самоорганизации гарантирует создание сети в случае выполнения единственного условия: связности. При этом количество узлов в сети может достигать нескольких тысяч.

Механизм самоорганизации, делающий таким простым развертывание БСС, также обеспечивает ее самовосстановление. Если какой-либо из узлов выходит из строя, сеть автоматически перенастраивается, чтобы компенсировать его отсутствие.

Однако БСС имеют ряд принципиальных ограничений: способность беспроводного канала, чувствительность к помехам, сложность организации коммуникаций при высокой плотности узлов, небольшой запас энергии и невысокая вычислительная мощность мотов.

Таким образом, выделяются следующие основные характеристики БСС: надежность и скорость передачи данных, длительность работы, качество мониторинга и безопасность.

На основе проведенных исследований можно выделить основные особенности БСС, учет которых необходим при создании программных приложений:

- Архитектура сенсорных узлов. Моты состоят из нескольких компонентов, в число которых обязательно входят процессор и передатчик; кроме того, обычно присутствуют датчики, память, батарея. Таким образом, состав компонентов мота может различаться для разных устройств даже в рамках одной сети (гетерогенная сеть).

- Работа в реальном времени. В большинстве приложений беспроводные сенсорные сети работают в режиме реального времени, то есть передают информацию по мере ее поступления, отвечают на посылаемые запросы, обмениваются технологическими сообщениями.

- Обмен сообщениями. Основной функцией БСС, наряду со сбором информации об окружающей среде, является ее передача. Механизмы обмена сообщениями критически важны для БСС.

- Режимы функционирования. Из-за необходимости экономии энергии моты должны функционировать в различных режимах, предусматривающих различные схемы питания их компонентов. Таких режимов у одного устройства может быть несколько.

- Работа на основе событий. В работе БСС важную роль играют события, то есть

изменения, происходящие в окружающей среде или в самом устройстве, на которые должна следовать определенная реакция.

- Псевдопараллелизм. В связи с ориентацией на обработку событий моты работают по принципу псевдопараллелизма: в составе управляющей программы выделяются задачи, которые выполняются единственным процессором последовательно, однако их выполнение может прерываться обработкой событий.

- Различные уровни абстракции. Различные платформы предоставляют конечному пользователю различные возможности для настройки сети на конкретное приложение.

В процессе сквозного проектирования адаптивных распределенных сенсорных сетей для медицинского применения необходимым условием является сопровождение технически сложного проекта. Проект включает такие аспекты разработки, как создание последовательных алгоритмов с последующей их адаптацией для параллельного и распределенного выполнения, верификация полученных алгоритмов путем создания моделей, реализующих запуск алгоритмов на ряде тестовых случаев, моделирование работы адаптивной распределенной сенсорной сети на уровне пакетной передачи, переход к модели, учитывающей специфику медицинского применения цифровых систем (гальваническая изоляция точек обмена информацией, отсутствие или минимизация пропущенных значений), верификации модели, включающей алгоритм экстраполяции по известным значениям, модификация модели для частичной косимуляции с физическим оборудованием и последующим переносом на реальное оборудование [1, 2, 3, 4, 5]. Для сопровождения подобного проекта требуется система, комплексно реализующая вышеуказанные аспекты.

В качестве такой системы авторам представляется адекватным использование MathWorks MATLAB&Simulink, а также ряд пакетов расширений (toolboxes) для MATLAB&Simulink, таких как Instrument Control Toolbox, MATLAB Coder, Simulink Coder, Embedded Coder и другие.

Алгоритмический аспект может быть смоделирован в MATLAB без применения дополнительных пакетов расширений, позволяя протестировать и визуализировать результаты вычислений. Для дальнейшего тестирования алгоритма в параллельном варианте необходим Parallel Computing Toolbox, позволяющий использовать до 12 ядер одновременно на одной физической машине (версия R2013b). Дальнейшее движение по данному вопросу приводит нас к необходимости использования решений,

позволяющих реализовать кластерные вычисления, демонстрирующие линейный рост скорости вычислений при наращивании количества процессоров, а также необходимости интеграции в процесс моделирования технологии NVIDIA CUDA, предоставляющей ресурс массивного параллелизма в задачах фильтрации, вейвлет-преобразования, преобразования Фурье сигналов биологических объектов многомерного характера и т.п.

Модельный аспект характеризуется необходимостью автоматизированного синтеза моделей передачи информации на пакетном уровне, учитывающих специфику медицинского применения. Для создания таких моделей возможно использовать Simulink StateFlow диаграммы, а также SimEvents – расширения блоков Simulink, в целом позволяющие смоделировать сложную систему в терминах системы массового обслуживания (СМО). Дополнительная сложность возникает при необходимости синтеза моделей в автоматизированном режиме при моделировании большой системы (более 1000 элементов). При этом возможно использовать API MATLAB&Simulink для реализации синтезатора модели по входным требованиям, включающим такие ограничения, как количество параметров мониторинга и контроля объекта, наличие или отсутствие у узлов адаптивной распределенной сенсорной сети медицинского назначения географической привязки, специализированных тегов и т.п.

Поскольку модельный эксперимент обладает определенной долей приближения к реальному объекту, то необходимо протестировать полученные модельные выкладки на реальном оборудовании в режиме косимуляции и/или PIL-тестирования. Решение подобной задачи возможно при использовании ряда пакетов расширения MATLAB&Simulink, а также использование так называемой буферной и целевой аппаратной платформы Arduino и сенсорной платформы на базе технологий Nordic Semiconductor соответственно. Метаданные для модельного эксперимента могут быть получены приборами Agilent, Rigol.

Заключение

Таким образом, в рамках системы MATLAB&Simulink возможна реализация и сопровождение технически сложных проектов, таких как сквозной синтез адаптивных распределенных сенсорных сетей медицинского применения, что отличает данный подход целостностью и однородностью базы разработки и языка общения специалистов, что позволило запустить процесс синтеза вышеуказанной системы с использованием модельно-ориентированного подхода.

Список литературы

1. Володин К.И., Интеллектуальная информационная система удаленных измерений для сбора и анализа метаданных о работе беспроводных сенсорных сетей // Тезисы XII Всероссийского симпозиума по прикладной и промышленной математике (осенняя открытая сессия) (Сочи – Адлер, 1–8 октября 2011 г.)
2. Володин К.И., Применение модельно-ориентированного подхода при сквозном проектировании адаптивных распределенных сенсорных сетей // Инновационные технологии в экономике, информатике и медицине. VIII Межрегиональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов: сборник статей. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. – 266 с.
3. Володин К.И., Переходов А.И., Разработка макета поведенческой модели устройства сопряжения модельного и натурного экспериментов в рамках синтеза адаптивных распределенных сенсорных сетей // Современные информационные технологии: труды международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2012.
4. Володин К.И., Переходов А.И., Имитационные модели устройства сопряжения модельного и натурного экспериментов в рамках концепции синтеза адаптивных распределенных сенсорных сетей // Современные информационные технологии: труды международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГТА, 2013.
5. Горюнова В.В., Володин К.И., Автоматизированное проектирование процессов технического обслуживания и диагностики // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – Т. 98. – № 9. – С. 64.

References

1. Volodin K.I., Intellektualnaya informacionnaya sistema udalennykh izmerenij dlya sbora i analiza metainformacii o rabote besprovodnykh sensornyx setej // Tezisy XII Vserossiyskogo simpoziuma po prikladnoj i promyshlennoj matematike (osennaya otkrytaya sessiya)(Sochi Adler, 1 8 oktyabrya 2011 g.)
2. Volodin K.I., Primenenie modelno-orientirovannogo podxoda pri skvoznom projektirovanii adaptivnykh raspredelennykh sensornyx setej // Innovacionnye tehnologii v ekonomike, informatike i medicine. VIII Mezhregionalnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya studentov i aspirantov. Sbornik statej. Penza: Izd-vo Penz. gos. texnol. akad., 2011. 266 p.
3. Volodin K.I., Perexodov A.I., Razrabotka maketa povedencheskoj modeli ustrojstva sopryazheniya modelnogo i naturного eksperimentov v ramkax sinteza adaptivnykh raspredelennykh sensornyx setej // Sovremennye informacionnye tehnologii: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. Penza: PGTA, 2012.
4. Volodin K.I., Perexodov A.I., Imitacionnye modeli ustrojstva sopryazheniya modelnogo i naturного eksperimentov v ramkax koncepcii sinteza adaptivnykh raspredelennykh sensornyx setej // Sovremennye informacionnye tehnologii: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii. Penza: PGTA, 2013.
5. Goryunova V.V., Volodin K.I., Avtomatizirovannoe projektirovanie processov texnicheskogo obsluzhivaniya i diagnostiki // Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2009. T. 98. no. 9. pp. 64.

Рецензенты:

Костников Ю.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационно-вычислительные системы», Пензенский государственный университет, г. Пенза;

Михеев М.Ю., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии и системы», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза.

УДК 639.2.081.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЮЧКОВЫХ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ

Габрюк В.И.

*Дальневосточный государственный бюджетный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, e-mail: festfu@mail.ru*

Аналитически исследуются крючковые рыболовные системы: удочки, троллы и ярусы. Получено общее аналитическое решение дифференциальных уравнений равновесия гибкого каната в покоящейся жидкости, являющееся обобщением работы И. Бернулли на случай, когда канат (хребтина крючкового яруса) легче воды. Это решение позволяет выполнять математическое моделирование любых крючковых рыболовных систем в покоящейся жидкости. Для дрейфующих крючковых ярусов и стационарных ярусов при наличии течений разработаны математические модели их элементов: рыболовного крючка, крючкового поводца, системы «наживка – крючок – поводец», узла крепления поводца к хребтине; гибкого каната в потоке; хребтины, якоря. На основе этих математических моделей на языке программирования Borland Delphi разработан программный комплекс CM-LongLine, позволяющий выполнять компьютерное моделирование всех типов ярусов при наличии течений. С разработкой математических моделей рыболовных систем промышленное рыболовство поднимается от ремесла, каким оно было до сих пор, до уровня точной науки, опирающейся на прочный фундамент математики, механики, физики, информатики и логики. Полученные в данной работе адекватные математические модели и компьютерные программы могут быть положены в основу новой науки «Математическое промышленное рыболовство на персональном компьютере».

Ключевые слова: рыболовный крючок, крючковый поводец, хребтина яруса, якорь, адекватные математические модели, компьютерное моделирование ярусов

MATHEMATICAL MODELING OF THE HOOK FISHING SYSTEMS

Gabryuk V.I.

*Far eastern state technical fisheries university,
Vladivostok, e-mail: festfu@mail.ru*

Are they Analytically researched hook fishing systems: fishing rods, troll and longlines. It Is Received general analytical decision of the differential equations of the balance to flexible cable in resting liquids, being generalization of the work I. Bernoulli on rallytea, when cable (mainline of the hook longline) easier water. This decision allows to execute mathematical modeling any hook fishing systems in resting liquids. For drift hook longlines and stationary longlines at presence of the currents is designed mathematical models their element: fishing hook, hookline, systems «bait-hook-hookline», node of the fastening hookline to mainline; the flexible tightrope in flow; mainline, anchor. On base these mathematical models on programming language Borland Delphi is designed programme complex CM-LongLine, allowing execute computer modeling of all types tier at presence of the currents. With development of the mathematical models of the fishing systems industrial fishing rises from craft, what it was hitherto, before level of the exact science, resting in firm foundation mathematicians, mechanical engineers, physicists, informatics and logic. Got in given work to identical mathematical models and computer about-grams can be prescribed in base of the new science «Mathematical industrial fishing on personal computer».

Keywords: fishing hook, hookline, mainline of the longline, anchor, identical mathematical models, computer modeling of the longline

Математическое моделирование в технике [3–9] является важнейшим инструментом познания реального Мира. Под математическим моделированием понимают замену исследуемого технического устройства математической моделью и его изучение методами вычислительной математики с использованием современной компьютерной техники.

Объектом исследования являются крючковые рыболовные системы: удочки, троллы и ярусы. Основными крючковыми орудиями рыболовства являются пелагические, донные и придонные горизонтальные ярусы (рис. 1), которые широко используются для лова таких рыб, как тунец, акула, меч-рыба, треска, чёрный палтус, окунь, терпуг, угольная рыба.

Ярус представляет собой длинный канат (хребтину), к которому на определённом расстоянии друг от друга крепятся поводцы с рыболовными крючками. Ярус набирается из отдельных секций. Секция яруса (section of the longline) – это отрезок хребтины с огонами на концах. В секции яруса размещается от шести для тунцеловных ярусов до 300 крючков при лове трески и палтуса. Ярусы отличаются простотой конструкции, высоким качеством улова, способностью облавливать гидробионты на любых глубинах и при наличии сложных грунтов, когда иные орудия использовать невозможно.

Целью исследования является получение математических моделей элементов крючковых орудий рыболовства (рыболовного крючка, крючкового поводца, узла кре-

пления поводца к хребтине, системы «рыболовный крючок – наживка – поводец»; гибкого каната как в потоке, так и в покоящейся жидкости; хребтины яруса, якорей с подъякорниками и без них), необходимых для математического моделирования крючковых рыболовных систем: удочек, троллов; горизонтальных, вертикальных и комбинированных крючковых ярусов как стационарных, так и дрейфующих.

Земная система координат (ЗСК) задаётся векторами $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$. Вектор $\vec{k}$ направлен по отвесу, то есть $\vec{k} \downarrow \vec{g}$ ($\vec{g}$ – ускорение свободного падения). Векторы $\vec{i}$, $\vec{j}$ лежат в плоскости горизонта. Эта система используется для задания положения каната относительно Земли и определения его формы. Форма каната задается выражением

$$\vec{r}(l) = x(l)\vec{i} + y(l)\vec{j} + z(l)\vec{k},$$

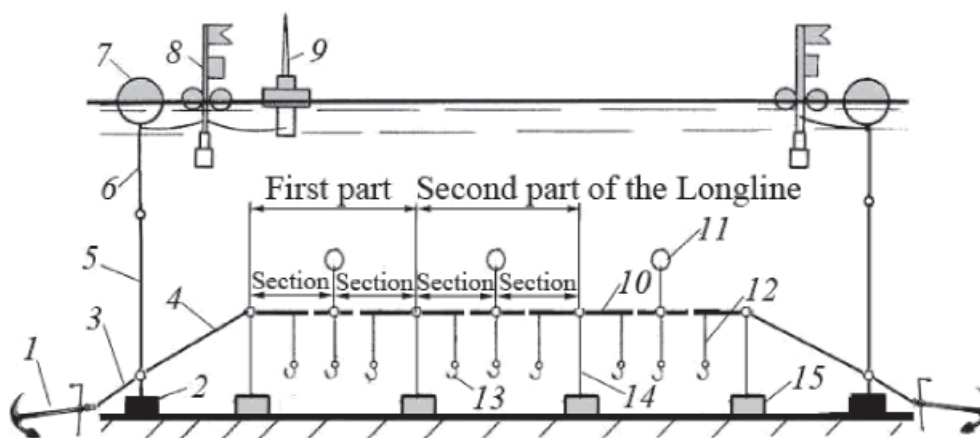


Рис. 1. Горизонтальный придонный ярус:

1 – якорь; 2 – подъякорник; 3 – якорный трос; 4 – якорный линь; 5 – плавучий линь; 6 – линь якорного буй; 7 – якорный буй; 8 – буй-веха; 9 – радиобуй; 10 – хребтина; 11 – поплавок; 12 – поводец; 13 – рыболовный крючок; 14 – грузовой линь; 15 – груз

Материалы и методы исследования

Математическая модель гибкого каната в потоке

Гибкий канат является основным элементом любых крючковых рыболовных систем, поэтому его математическая модель лежит в основе их моделирования. Векторное дифференциальное уравнение равновесия гибкого каната в потоке имеет вид [1–3]

$$\frac{d(T\vec{\tau})}{dl} + \vec{q} + \vec{r}_w = \frac{dT}{dl} \cdot \vec{\tau} + \frac{T \cdot d\vec{\tau}}{dl} + \vec{q} + \vec{r}_w = \vec{0}. \quad (1)$$

Здесь T – натяжение каната в текущей точке; $\vec{\tau}$ – орт касательной оси каната, направленный в сторону роста дуговых координат l ; $\vec{q}$ – вес в воде 1 м каната; $\vec{r}_w$ – гидродинамическая сила, приходящаяся на 1 м каната.

Скалярные дифференциальные уравнения равновесия каната получаются путём проецирования векторного уравнения (1) на оси какой-либо системы координат. Канаты орудий рыболовства работают в воде, поэтому при их исследовании используется три системы координат: земная ($\vec{i}\vec{j}\vec{k}$), естественная ($\vec{\tau}\vec{n}\vec{b}$) и поточная ($\vec{i}_v\vec{j}_v\vec{k}_v$).

где $\vec{r}$; x , y , z ; l – радиус-вектор, декартовы и дуговая координаты текущей точки оси каната.

Естественная система координат (ЕСК) каната задаётся векторами $\vec{\tau}$, $\vec{n}$, $\vec{b}$:

$$\vec{\tau} = d\vec{r} / dl = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j} + \dot{z}\vec{k};$$

$$\vec{n} = \frac{d\vec{\tau} / dl}{K} = \frac{d^2\vec{r} / dl^2}{K} = \frac{\ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}}{K};$$

$$\vec{b} = \vec{\tau} \times \vec{n} = \frac{(\dot{y}\ddot{z} - \dot{z}\ddot{y})\vec{i} + (\dot{z}\ddot{x} - \dot{x}\ddot{z})\vec{j} + (\dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x})\vec{k}}{K}.$$

Здесь $\vec{\tau}$, $\vec{n}$, $\vec{b}$ – орты касательной, главной нормали и бинормали оси каната; $\dot{} \equiv d / dl$ – символ производной по дуговой координате; $K = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$ – кривизна оси каната.

Поточная система координат каната (ПСК) задаётся векторами $\vec{i}_v$, $\vec{j}_v$, $\vec{k}_v$:

$$\vec{i}_v \uparrow \downarrow \vec{V}, \vec{k}_v \subset (\vec{\tau}\vec{V}).$$

Здесь $\vec{V}$ – скорость потока. Эта система используется при определении гидродинамических сил, действующих на канат в потоке.

Если скорость потока $\vec{V}$ лежит в плоскости горизонта, то ось абсцисс земной

системы координат x направляют по оси x_{V2} рис. 2. В этом случае ориентация поточной системы координат относительно земной определяется углом φ между осями z и z_V , называемым углом крена плоскости потока каната ($\tau \vec{V}$).

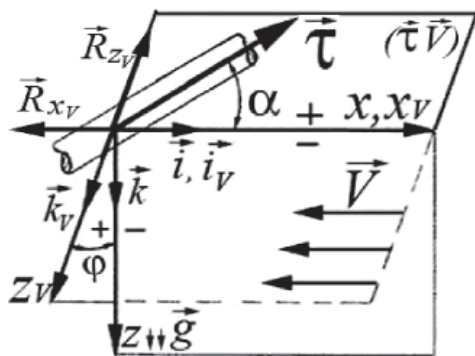


Рис. 2. Земная x, y, z и поточная x_V, y_V, z_V системы координат каната:

($\tau \vec{V}$) – плоскость потока каната;
 α – угол атаки каната;

φ – угол крена плоскости потока каната

Проецируя векторное уравнение (1) на оси поточной системы и учитывая, что

$$\vec{\tau} = \cos \alpha \vec{i}_V - \sin \alpha \vec{k}_V = \cos \alpha \vec{i} +$$

$$+ \sin \alpha \sin \varphi \vec{j} - \sin \alpha \cos \varphi \vec{k};$$

$$d\vec{\tau} / dl = \vec{K} = K\vec{n} =$$

$$= -\dot{\alpha} \sin \alpha \vec{i}_V + \dot{\varphi} \sin \alpha \vec{j}_V - \dot{\alpha} \cos \alpha \vec{k}_V;$$

$$\vec{q} = q_z \vec{k} = q_z (\sin \varphi \vec{j}_V + \cos \varphi \vec{k}_V);$$

$$\vec{r}_W = r_{XV} \vec{i}_V + r_{YV} \vec{j}_V + r_{ZV} \vec{k}_V,$$

после преобразований, получим

$$\dot{T} = q_z \sin \alpha \cos \varphi - r_{XV} \cos \alpha + r_{ZV} \sin \alpha;$$

$$\dot{\alpha} = \frac{q_z \cos \alpha \cos \varphi + r_{XV} \sin \alpha_{xp} + r_{ZV} \cos \alpha}{T};$$

$$\dot{\varphi} = \frac{-(q_z \sin \varphi + r_{YV})}{T \sin \alpha}; \quad (2)$$

$$\dot{x} = \cos \alpha; \quad \dot{y} = \sin \alpha \sin \varphi; \quad \dot{z} = -\sin \alpha \cos \varphi;$$

$$q_z = k_w mg; \quad k_w = 1 - m_w / m;$$

$$R_x = T \cos \alpha - T_0 \cos \alpha_0,$$

где T_0 , α_0 ; T , α – натяжение каната и его угол атаки в начальной и текущей точках; q_z – проекция веса в воде 1 м каната на ось z ; $\vec{g}$; m_w , m – масса воды, вытесненной 1 м каната и его линейная плотность; r_{XV} , r_{YV} , r_{ZV} – проекции гидродинамической силы каната на оси поточной системы координат; R_x – гидродинамическое сопротивление каната.

Система дифференциальных уравнений (2) является математической моделью каната в потоке. Она позволяет находить семь функций: $x(l)$, $y(l)$, $z(l)$, $T(l)$, $R_x(l)$, $\alpha(l)$, $\varphi(l)$, определяющих форму каната в потоке $x(l)$, $y(l)$, $z(l)$, его натяжение $T(l)$ и гидродинамическое сопротивление $R_x(l)$, а также его угол атаки $\alpha(l)$ и угол крена плоскости потока $\varphi(l)$. Эта система записана в нормальной форме, наиболее удобной для её численного решения на ЭВМ.

Проекция гидродинамической силы каната на оси поточной системы координат

r_{XV} , r_{YV} , r_{ZV} входящие в (2), зависят от его угла атаки α и определяются экспериментально путём испытания канатов в аэродинамических трубах, гидроротках или в море. Их обычно записывают в форме Ньютона:

$$r_{XV} = C_{XV} (0,5 \rho V^2) d, \quad (x_V, y_V, z_V).$$

Здесь d – диаметр каната; C_{XV} , C_{YV} , C_{ZV} – коэффициенты гидродинамических сил. Эти коэффициенты удовлетворяют следующим условиям симметрии:

$$C_{XV, YV, ZV}(\alpha) = C_{XV, YV, ZV}(\alpha + \pi);$$

$$C_{XV}(-\alpha) = C_{XV}(\alpha); \quad C_{YV, ZV}(-\alpha) = -C_{YV, ZV}(\alpha),$$

то есть они являются периодическими функциями угла атаки α с периодом π , причём $C_{XV}(\alpha)$ – чётная функция, а $C_{YV, ZV}(\alpha)$ – нечётные функции. Они также удовлетворяют граничным условиям:

$$C_{YV, ZV}(0) = C_{YV, ZV}(-0) = 0;$$

$$C_{YV, ZV}(90) = C_{YV, ZV}(-90) = 0.$$

Условиям симметрии и граничным условиям удовлетворяют следующие функции:

$$C_{XV} = -(c_{11} \sin^2 \alpha + c_{12} \sin^4 \alpha + c_{13} \cos^2 \alpha), \quad \alpha \in (-\infty, \infty);$$

$$C_{YV} = \pm (c_{21} \sin \alpha \cos \alpha + c_{22} \sin^3 \alpha \cos \alpha), \quad \alpha \in (-\infty, \infty);$$

$$C_{ZV} = -(c_{31} \sin \alpha \cos \alpha + c_{32} \sin^3 \alpha \cos \alpha), \quad \alpha \in (-\infty, \infty),$$

где c_{ij} – коэффициенты, зависящие от материала каната, числа наружных прядей, отношения длины каната к его диаметру l/d (при $l/d > 100$ канат можно рассматривать как канат бесконечного удлинения). Знак (+) во второй из формул относится к канатам правой свивки наружных прядей, знак (–) – канатам левой свивки.

Для получения дифференциальных уравнений равновесия каната в естественных осях умножим уравнение (1) скалярно на $\vec{\tau}$, $\vec{n}$, $\vec{b}$, получим

$$dT/dl + q_\tau + r_\tau = 0; \quad T \cdot K + q_n + r_n = 0;$$

$$q_b + r_b = 0.$$

Здесь

$$q_\tau = \vec{q} \cdot \vec{\tau} = q_z \vec{k} \cdot \vec{\tau} = \dot{z} \cdot q_z = -q_z \sin \alpha \cos \varphi;$$

$$q_n = \vec{q} \cdot \vec{n} = q_z \vec{k} \cdot \vec{n} = \frac{(\dot{z} \cdot q_z)}{K} = \frac{q_z (\dot{\varphi} \sin \alpha \sin \varphi - \dot{\alpha} \cos \alpha \cos \varphi)}{K};$$

$$q_b = \vec{q} \cdot \vec{b} = q_z \vec{k} \cdot \vec{b} = q_z \vec{k} \cdot (\vec{\tau} \times \vec{n}) = \frac{q_z (\dot{x}\dot{y} - \dot{y}\dot{x})}{K} = \frac{q_z (\dot{\alpha} \sin \varphi - \dot{\varphi} \sin \alpha \cos \alpha \cos \varphi)}{K};$$

$$r_\tau = \vec{r}_w \cdot \vec{\tau} = r_{XV} \cos \alpha - r_{ZV} \sin \alpha;$$

$$r_n = \vec{r}_w \cdot \vec{n} =$$

$$= \frac{-r_{XV} \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha + r_{YV} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \alpha - r_{ZV} \cdot \dot{\alpha} \cdot \cos \alpha}{K};$$

$$r_b = \vec{r}_w \cdot \vec{b} =$$

$$= \frac{r_{XV} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin^2 \alpha + r_{YV} \cdot \dot{\alpha} + r_{ZV} \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{K};$$

$$K = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} = \sqrt{\dot{\alpha}^2 + \dot{\varphi}^2 \sin^2 \alpha},$$

где K – кривизна оси каната; q_τ , q_n , q_b , r_τ , r_n , r_b – проекции веса 1 м каната в воде и гидродинамической силы, приходящейся на 1 м каната, на естественные оси.

Для моделирования стационарных ярусных систем в покоящейся жидкости рассмотрим равновесие каната в покоящейся жидкости. Эта задача решена И. Бернулли [10] для случая, когда плотность материала каната больше плотности жидкости.

Равновесие канатов в покоящейся жидкости описывается векторным диффе-

ренциальным уравнением, получаемым из (1) при $\vec{r}_w = 0$:

$$\frac{d(T\vec{\tau})}{dl} + \vec{q} = \frac{d[T(\dot{x}\vec{i} + \dot{z}\vec{k})]}{dl} + q_z \vec{k} = \frac{d(T\dot{x})}{dl} \cdot \vec{i} + d(T\dot{z}) \cdot \vec{k} + q_z \vec{k} = \vec{0}. \quad (3)$$

Так как силы $\vec{q}$ параллельны оси z , то канат лежит в плоскости (xz) , поэтому $y \equiv 0$. Проецируя уравнение (3) на оси x и z земной системы координат, получим дифференциальные уравнения равновесия гибкого каната в покоящейся жидкости:

$$\frac{d(T\dot{x})}{dl} = 0; \quad \frac{d(T\dot{z})}{dl} = -q_z. \quad (4)$$

Общее решение системы (4) имеет вид: при $q_z \neq 0$:

$$x = p_x [\operatorname{arsh}((l + C_3)/p_x) - C_1];$$

$$z = p_x \cdot \operatorname{ch}(x/p_x + C_1) - C_2;$$

$$l = p_x \cdot \operatorname{sh}(x/p_x + C_1) - C_3;$$

$$C_1 = \operatorname{arsh}(T_{AZ}/T_{AX});$$

$$C_2 = p_x \cdot \operatorname{ch} C_1; \quad C_3 = p_x \cdot \operatorname{sh} C_1;$$

$$T_{AZ} = 0,5 q_z \left[l_K \pm z_{BA} \sqrt{1 + 4 p_x^2 / (l_K^2 - h_{BA}^2)} \right];$$

$$(+)- \text{при } q_z > 0, (-)- \text{при } q_z < 0; \quad (5)$$

$$T_{AX} = 0,5 |q_z| \sqrt{[(2 p_z - l_K)^2 - h_{BA}^2] (l_K^2 - h_{BA}^2)} / h_{BA};$$

$$p_x = \frac{-T_{AX}}{q_z}; \quad p_z = \frac{T_{AZ}}{q_z};$$

$$T_B = T_A - q_z \cdot z_{BA}; \quad z_{BA} = z_B - z_A;$$

$$h_{BA} = |z_B - z_A|; \quad q_z = k_w G_z = k_w mg;$$

$$k_w = 1 - m_w / m;$$

при $q_z = 0$: $T = C_4 = \text{const}$; $z = C_5 x + C_6$, где m_w – масса воды, вытесненной 1 м каната; m – линейная плотность каната; q_z – проекция на ось z веса в воде 1 м каната; k_w – коэффициент веса каната в воде; l – дуговая координата текущей точки каната; l_K – длина каната; $C_1, \dots, C_6$ – константы интегрирования; z_A, z_B – аппликаты начальной и конечной точек каната; p_x, p_z – параметры каната; T_{AX}, T_{AZ} – проекции натяжения каната в начальной точке A на оси x и z , рис. 3.

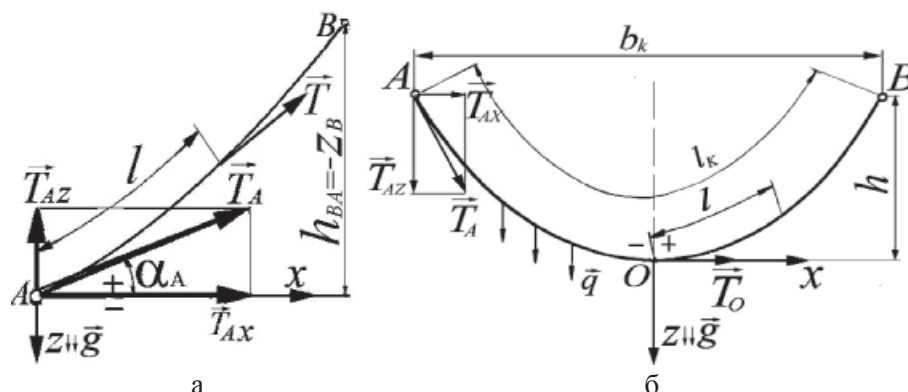


Рис. 3. Параметры:
а – несимметричного каната; б – симметричного каната

Система (5) является развитием работы [10] на случай, когда канат может быть как тяжелее воды (сталь, полиамид, полиэстер), так и легче воды (полиэтилен, полипропилен, дэнлайн).

При получении уравнений (5) использовалась система координат xz , ось z которой направлена по ускорению свободного падения, т.е. $z \downarrow \vec{g}$. Кроме того, дифференциал дуговой координаты определялся по формуле $dl = \sqrt{1 + (dz/dx)^2} dx$, где перед радикалом взят знак (+). Она верна только тогда, когда дифференциалы дуговой координаты dl и абсциссы dx имеют одинаковые знаки. Поэтому ось x необходимо направлять в ту сторону, чтобы с ростом дуговых координат росли и абсциссы, как показано на рис. 3. Это обстоятельство необходимо учитывать при решении конкретных задач.

Система (5) является общей математической моделью однородного неподвижного гибкого каната в покоящейся воде, изготовленных из материалов как тяжелее воды, когда $q_z > 0$ (сталь $k_w = 0,87$; капрон $k_w = 0,1$; полиэстер $k_w = 0,126$), так и легче воды, когда $q_z < 0$ (полиэтилен $k_w = -0,068$; полипропилен $k_w = -0,126$). Математическая модель (5) лежит в основе математического моделирования любых крючковых рыболовных систем в покоящейся жидкости.

Для симметричного каната, когда оси координат выбраны так, как показано на рис. 3, б, выполняются условия: $z_A = z_B$, $C_1 = C_3 = 0$, $C_2 = p_x$ и формулы (5) принимают вид

$$\begin{aligned} x &= p_x \operatorname{arsh}(l/p_x); \\ z &= p_x \cdot \operatorname{ch}(x/p_x) - p_x; \\ l &= p_x \cdot \operatorname{sh}(x/p_x); \end{aligned} \quad (6)$$

$$b_k = 2x_B = 2p_x \operatorname{arsh}(l_k/2p_x);$$

$$T_{Ax} = T_O = |q_z|(l_k^2 - 4h^2)/8h; \quad T_{Az} = 0,5q_z l_k;$$

$$p_x = -T_{Ax}/q_z.$$

Здесь b_k – хорда каната; l_k – длина каната; h – стрелка прогиба (рис. 3).

Уравнения (6) являются математической моделью симметричного каната в покоящейся жидкости.

Математическая модель рыболовного крючка

Рыболовный крючок служит для размещения наживки, захвата и удержания рыбы. В настоящее время используются плоские и пространственные крючки. Пространственный крючок работает на растяжение, изгиб и кручение. Так как напряжения от растяжения и кручения малы (они не превышают 2% напряжений изгиба), то диаметр проволоки крючка определяется из условия его прочности на изгиб.



Рис. 4. Силы, приложенные к рыболовному крючку:
 F_p – сила, с которой рыба действует на крючок; T_n – натяжение поводца;
 b_T – плечо натяжения поводца

Условие прочности рыболовного крючка заключается в том, что максимальное напряжение в наиболее нагруженном сечении крючка (сечение $I-I$, рис. 4) должно быть меньше допускаемого:

$$\sigma_x^{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} \leq [\sigma],$$

где $M_x^{\max} = T_n b_T$ – максимальный изгибающий момент; T_n – натяжение поводца, при котором разрушается ротовая полость рыбы (определяется по формуле $T_n = k_p G_p$); k_p – коэффициент прочности ротовой полости рыбы, определяемый экспериментально (для трески $k_p = 1,5-3,0$; меньшие значения – для более крупных рыб); G_p – вес рыбы в воздухе; $W_x = I_x / y_{\max}$ – момент сопротивления поперечного сечения крючка; $I_x = \int y^2 dS$ – момент инерции поперечного сечения крючка.

Для крючка, поперечное сечение которого – круг диаметром d , имеем

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64}; \quad y_{\max} = \frac{d}{2};$$

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3.$$

Крючки в основном выполняются из проволоки круглого сечения. В этом случае условие прочности крючка имеет вид

$$\sigma_x^{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} = \frac{T_n b_T}{0,1d^3} = \frac{10k_p G_p b_T}{d^3} \leq [\sigma].$$

Откуда находим диаметр проволоки рыболовного крючка:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{10M_x^{\max}}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10T_n b_T}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10k_p G_p b_T}{[\sigma]}}, \quad (7)$$

где $[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n_T}$ – допускаемое напряжение для материала крючка; σ_T – предел текучести материала крючка; n_T – коэффициент запаса прочности по текучести.

Максимальное натяжение крючкового поводца $T_n^{\max}$, при котором рыболовный крючок разгибается, определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{T_n^{\max} b_T}{0,1d^3} = \sigma_T \Rightarrow T_n^{\max} = \frac{0,1d^3 \sigma_T}{b_T}.$$

Разрывное усилие крючкового поводца:

$$T_b^n = n_b^n T_n^{\max} = \frac{0,1n_b^n d^3 \sigma_T}{b_T}. \quad (8)$$

Здесь n_b^n – коэффициент запаса поводца на разрыв ($n_b^n = 3-5$). Диаметр нитки крючкового поводца выбирается по таблицам ГОСТ по его разрывному усилию T_b^n .

Математическая модель системы «наживка – крючок – поводец»

Характеристики крючкового поводца: натяжение T_n , угол атаки α_n , угол крена плоскости потока φ_n , необходимые для моделирования хребтин ярусов, определяются из условий равновесия системы «наживка – крючок – поводец» (рис. 5).

Векторное уравнение равновесия системы «наживка – крючок – поводец» имеет вид

$$\vec{T}_n = -(\vec{R}_H + \vec{R}_n + \vec{Q}_H + \vec{Q}_{KP} + \vec{Q}_n).$$

Проецируя это уравнение на оси земной системы координат, получим проекции натяжения поводца T_X^n, T_Y^n, T_Z^n на оси земной системы координат:

$$T_X^n = T_n \cos \alpha_n = -(R_X^n + R_X^H); \quad (9)$$

$$T_Y^n = T_n \sin \alpha_n \sin \varphi_n = -(R_Y^n + R_Y^H);$$

$$T_Z^n = T_n \sin \alpha_n \cos \varphi_n =$$

$$= -(R_Z^n + R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^H + Q_Z^{KP}),$$

где T_n , α_n – натяжение и угол атаки крючкового поводца; φ_n – угол крена плоскости потока поводца; Q_Z^n, Q_Z^H, Q_Z^{KP} – веса в воде поводца, наживки и крючка соответственно; R_X^n, R_Y^n, R_Z^n – проекции гидродинамической силы поводца на оси земной системы координат, определяемые по формулам

$$R_X^n = R_{XV}^n; \quad R_Y^n = R_{YV}^n \cos \varphi_n - R_{ZV}^n \sin \varphi_n;$$

$$R_Z^n = R_{YV}^n \sin \varphi_n + R_{ZV}^n \cos \varphi_n. \quad (10)$$

Здесь

$$R_{XV}^n = C_{XV}^n (0,5\rho V^2) d_n l_n, \quad (x_V, y_V, z_V).$$

Из уравнений (9) и (10) следует:

$$R_Y^H \cos \varphi_n + (R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{H+KP}) \sin \varphi_n + R_{YV}^n = 0; \quad (11)$$

$$\left[(R_{XV}^n + R_{XV}^H) \sin \alpha_n + R_{ZV}^n \cos \alpha_n \right] \cos \varphi_n + R_{YV}^n \cos \alpha_n \sin \varphi_n + (R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{H+KP}) \cos \alpha_n = 0.$$

Система (10) – это система линейных алгебраических уравнений относительно $\sin \varphi_n$ и $\cos \varphi_n$. По формулам Крамера находим

$$\sin \varphi_n = \frac{\Delta_{\sin \varphi_n}}{\Delta}; \quad \cos \varphi_n = \frac{\Delta_{\cos \varphi_n}}{\Delta}.$$

Угол атаки поводца α_n определяется из соотношения

$$\begin{aligned} \sin^2 \varphi_n + \cos^2 \varphi_n = 1 &\Rightarrow \Delta_{\sin \varphi_n}^2 + \Delta_{\cos \varphi_n}^2 = \Delta^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left\{ -R_Y^H (R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{H+KP}) + R_{YV}^n \left[(R_{XV}^n + R_{XV}^H) \operatorname{tg} \alpha_n + R_{ZV}^n \right] \right\}^2 + \\ &\quad + \left\{ (R_{YV}^n)^2 - (R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{H+KP})^2 \right\}^2 - \\ &\quad - \left\{ R_Y^H R_{YV}^n - (R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{H+KP}) \left[(R_{XV}^n + R_{XV}^H) \operatorname{tg} \alpha_n + R_{ZV}^n \right] \right\}^2 = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

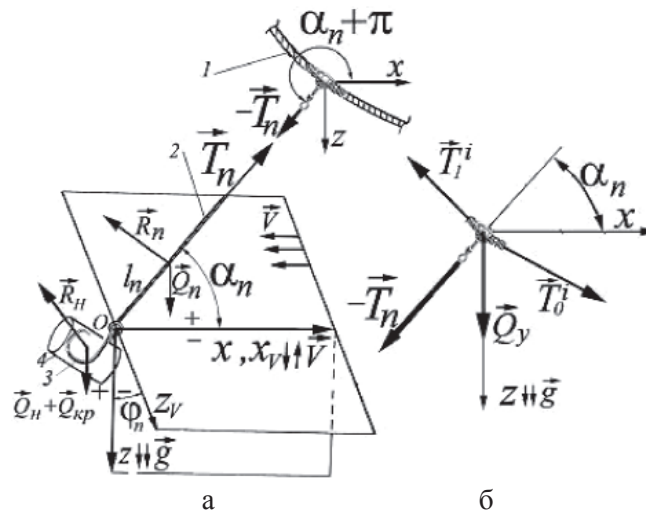


Рис. 5. Система «наживка – крючок – поводок»:
1 – хребтина; 2 – крючковый поводок; 3 – рыболовный крючок; 4 – наживка (а);
б – узел крепления крючкового поводка к хребтине яруса

Угол крена плоскости потока поводца φ_n и его натяжение T_n определяются из соотношений

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{\Delta_{\sin \varphi_n}}{\Delta_{\cos \varphi_n}}; \quad T_n = \sqrt{T_{nx}^2 + T_{ny}^2 + T_{nz}^2}. \quad (13)$$

Формулы (11)–(13) получены при допущении, что поводок является прямолинейным.

Математическая модель хребтины яруса с учетом течений

Система (2) лежит в основе моделирования хребтин ярусов с учётом течений. При разработке математической модели хребтины яруса необходимо учитывать действие на неё крючковых поводцов. Его можно учитывать двояко:

- во-первых, сосредоточенными силами (натяжениями поводцов T_n), приложенными в точках крепления поводцов к хребтине;

- во-вторых, путём равномерного распределения натяжения поводцов по длине хребтины.

В первой методике хребтина на i -м участке рассматривается состоящей из $(n_{kp}^i + 1)$ отрезков, на которые она делится точками крепления к ней крючковых поводцов. Здесь n_{kp}^i – количество крючков на i -м участке. В этом случае каждый отрезок хребтины нагружен весом в воде и гидродинамическими силами. Характеристики хребтины на i -м участке определяются путем численного решения задачи Коши для уравнений равновесия хребтины в потоке (2) на каждом из $(n_{kp}^i + 1)$ ее отрезков. Начальные данные T_0 , α_0 , φ_0 для решения задачи Коши определяются из условий равновесия узлов крепления поводцов к хребтине (рис. 5, б):

$$\vec{T}_0^i + \vec{T}_1^i - \vec{T}_n + \vec{Q}_y = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}_0^i = \vec{T}_n - \vec{T}_1^i - \vec{Q}_y.$$

Проецируя это уравнение на оси земной системы координат, получим

$$T_0^i \cos \alpha_0^i = T_n \cos \alpha_n - T_1^i \cos \alpha_1^i; \quad (14)$$

$$T_0^i \sin \alpha_0^i \sin \varphi_0^i = T_n \sin \alpha_n \sin \varphi_n - T_1^i \sin \alpha_1^i \sin \varphi_1^i;$$

$$T_0^i \sin \alpha_0^i \cos \varphi_0^i = T_n \sin \alpha_n \cos \varphi_n - T_1^i \sin \alpha_1^i \cos \varphi_1^i + Q_z^y.$$

Здесь T_1^i, T_0^i – натяжения хребтины до и после i -го узла крепления поводца к хребтине (рис. 5, б); Q_z^y – вес в воде узла соединения поводца с хребтиной; α_1^i, φ_1^i ; α_0^i, φ_0^i – углы атаки хребтины и крена плоскости потока до узла и после него.

Для расчета характеристик хребтины на i -м участке необходимо определять $(n_{kp}^i + 1)$ раз начальные данные, а именно: в начале

участка (точке A_i) и в точках крепления поводцов к хребтине $K_{i1}, K_{i2}, K_{i3}, \dots$ (рис. 6).

Первая методика удобна при расчёте ярусов для лова тунцов, когда на участке длиной 300 м размещается 5–6 поводцов с крючками, расстояние между которыми 30–60 м. Но она сложна при расчёте придонных ярусов, когда на участке яруса размещается много крючков (250 и более) при расстоянии между крючками 1,0–1,5 м. В этом случае расчёты удобнее вести по второй методике, изложенной ниже.

Во второй методике натяжения поводцов равномерно распределяются по длине хребтины. В этом случае начальные данные для расчета хребтины на i -м участке определяются только один раз, а именно в начале участка – точке A_i .

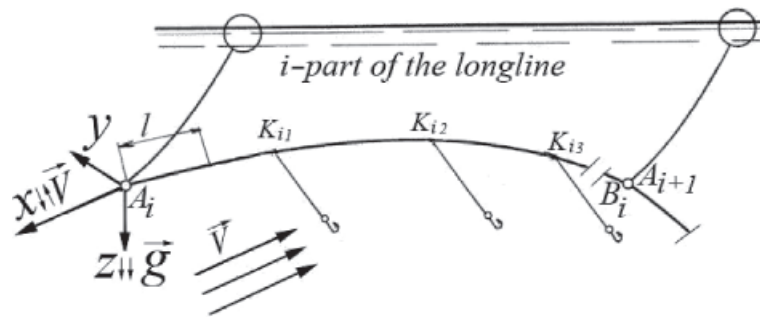


Рис. 6. i -й участок яруса при наличии течений

Математическая модель хребтины с учетом равномерно распределенных по длине хребтины сил от натяжения поводцов имеет вид

$$\dot{T}_{xp} = q_z^{xp+y} \sin \alpha_{xp} \cos \varphi_{xp} - (r_{xV} + t_{xV}^n) \cos \alpha_{xp} + (r_{zV} + t_{zV}^n) \sin \alpha_{xp};$$

$$\dot{\alpha}_{xp} = \frac{q_z^{xp+y} \cos \alpha_{xp} \cos \varphi_{xp} + (r_{xV} + t_{xV}^n) \sin \alpha_{xp} + (r_{zV} + t_{zV}^n) \cos \alpha_{xp}}{T_{xp}};$$

$$\dot{\varphi}_{xp} = \frac{-(q_z^{xp+y} \sin \varphi_{xp} + r_{yV} + t_{yV}^n)}{T_{xp} \sin \alpha_{xp}}; \quad (15)$$

$$\dot{x} = \cos \alpha_{xp}; \quad \dot{y} = \sin \alpha_{xp} \sin \varphi_{xp}; \quad \dot{z} = -\sin \alpha_{xp} \cos \varphi_{xp}; \quad q_z^{xp+y} = k_w^{xp} m_{xp} g + k_w^y n_{kp}^S M_y g / l_s;$$

$$r_{xV} = C_{xV}^{xp}(\alpha_{xp}) \cdot (0,5\rho V^2) d_{xp}, \quad (x_V, y_V, z_V); \quad t_{xV}^n = t_X^n; \quad t_{yV}^n = t_Y^n \cos \varphi_{xp} + t_Z^n \sin \varphi_{xp};$$

$$t_{zV}^n = -t_Y^n \sin \varphi_{xp} + t_Z^n \cos \varphi_{xp}; \quad t_X^n = \frac{n_{kp}^S (R_{xV}^n + R_X^H)}{l_s}; \quad t_Y^n = \frac{n_{kp}^S (R_{yV}^n \cos \varphi_n - R_{zV}^n \sin \varphi_n + R_Y^H)}{l_s};$$

$$t_Z^n = \frac{n_{kp}^S (R_{yV}^n \sin \varphi_n + R_{zV}^n \cos \varphi_n + R_Z^H + Q_Z^n + Q_Z^{n+kp})}{l_s};$$

$$Q_z^n = k_w^n m_n l_n g; \quad Q_z^{n+kp} = k_w^H M_H g + k_w^{kp} M_{kp} g; \quad R_{xV}^n = C_{xV}^n(\alpha_n) \cdot (0,5\rho V^2) d_n l_n, \quad (x_V, y_V, z_V);$$

$$C_{xV}^{xp} = -(c_{11} \sin^2 \alpha_{xp} + c_{12} \sin^4 \alpha_{xp} + c_{13} \cos^2 \alpha_{xp});$$

$$C_{YV}^{xp} = \pm (c_{21} \sin \alpha_{xp} \cos \alpha_{xp} + c_{22} \sin^3 \alpha_{xp} \cos \alpha_{xp});$$

$$C_{ZV}^{xp} = -(c_{31} \sin \alpha_{xp} \cos \alpha_{xp} + c_{32} \sin^3 \alpha_{xp} \cos \alpha_{xp}),$$

(xp, n),

где q_z^{xp+y} – проекция на ось z веса в воде 1 м хребтины с узлами крепления к ней крючковых поводцов; M_y – масса узла крепления поводца к хребтине; d_{xp} , d_n – диаметры хребтины и поводца; l_n – длина поводца; t_x^n , t_y^n , t_z^n – проекции на оси земной системы координат натяжений крючковых поводцов, приходящихся на единицу длины хребтины; R_x^n , R_x^{n+kp} , (x, y, z) – проекции гидродинамических сил поводца и наживки с крючком; α_n – угол атаки поводца; T_{xp} , α_{xp} , φ_{xp} – натяжение, угол атаки хребтины и угол крена плоскости потока хребтины в текущей точке; r_{xV} , r_{yV} , r_{zV} – проекции гидродинамических сил, приходящихся на 1 м хребтины, на оси поточной системы координат; Q_z^n , Q_z^{n+kp} – веса в воде поводца и наживки с крючком соответственно; m_{xp} , m_n – линейные плотности хребтины и поводца.

Для успешного лова гидробионтов необходимо обеспечить нахождение всех крючков в слое рыбы. Интегрируя дифференциальные уравнения

$$\dot{x} = -\cos \alpha_n; \quad \dot{y} = -\sin \alpha_n \sin \varphi_n;$$

$$\dot{z} = \sin \alpha_n \cos \varphi_n,$$

получим координаты крючков в системе $Axyz$ (рис. 7):

$$x_{ij}^{kp} = x_{ij} - \cos \alpha_n l_n; \quad y_{ij}^{kp} = y_{ij} - \sin \alpha_n \sin \varphi_n l_n;$$

$$z_{ij}^{kp} = z_{ij} + \sin \alpha_n \cos \varphi_n l_n,$$

где x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} – координаты точки крепления j -го поводца к хребтине на i -м участке яруса; x_{ij}^{kp} , y_{ij}^{kp} , z_{ij}^{kp} – координаты крючков; l_n – длина крючкового поводца (рис. 7).

Математическая модель якоря

Якоря служат для обеспечения неподвижности яруса, заданной стрелки прогиба хребтины и увеличения скорости погружения ярусного порядка.

На промысле используются якоря без подъякорников и с подъякорниками в форме грузов, рис. 8. В общем случае натяжение якорного линия $\vec{T}_A$ в точке A его крепления к якорю имеет горизонтальную $\vec{T}_{Ax}$ и вертикальную $\vec{T}_{Az}$ составляющие. Первая из них уравнивается держащей силой якоря $\vec{F}_я$, вторая – весом в воде якоря и/или подъякорника.

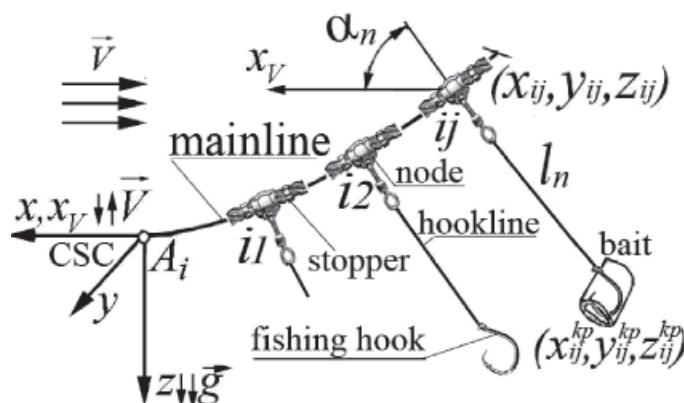


Рис. 7. К определению координат j -го рыболовного крючка на i -м участке яруса

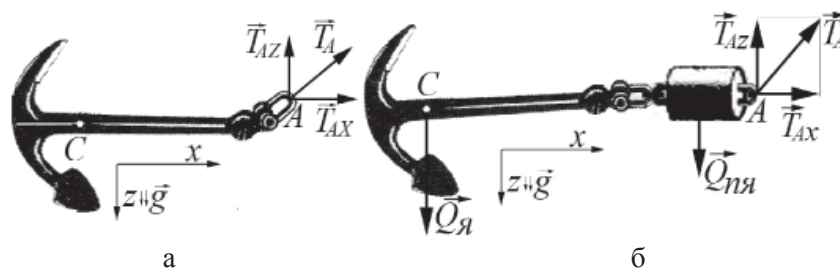


Рис. 8. Якоря:
а – без подъякорника; б – с подъякорником в форме цилиндра

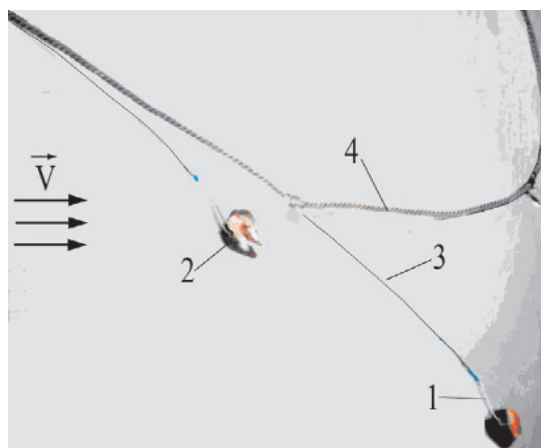


Рис. 10. Фото хребтины яруса в аэродинамической трубе при скорости воздуха 18 м/с:
1 – рыболовный крючок; 2 – наживка; 3 – крючковый поводок; 4 – хребтина

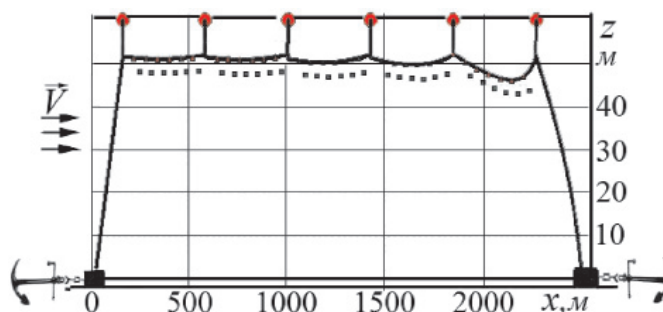


Рис. 11. Общий вид стационарного пелагического тунцеловного яруса, полученного компьютерным моделированием

В формуле (20) перед радикалом берется знак (+), если $q_z^n > 0$, т.е. когда якорный лить тяжелее воды, и знак (–) – в противном случае.

Разработаны адекватные математические модели (2)–(20) элементов крюковых орудий рыболовства, позволяющие выполнять их математическое моделирование. Адекватность этих моделей подтверждена их испытаниями в гидродинамических лотках и аэродинамических трубах (рис. 10).

Математические модели (2)–(20) положены в основу программного комплекса «Моделирование ярусных порядков и их элементов с учётом течений CM-LongLine». Комплекс состоит из набора программ. Эти программы могут работать как автономно, моделируя отдельные элементы яруса, так и системно, моделируя весь ярусный порядок. Результаты компьютерного моделирования стационарного пелагического яруса приведены на рис. 11.

Выводы

Получен общий интеграл (4) дифференциальных уравнений (3) равновесия гибких канатов в покоящейся жидкости, являющийся обобщением работы [10] на случай, когда канат (хребтина крюкового яруса) легче воды. Он позволяет выполнять математическое моделирование любых крюковых рыболовных систем в покоящейся жидкости.

Для дрейфующих крюковых ярусов и стационарных ярусов при наличии течений разработаны математические модели их элементов: рыболовного крючка (7), крюкового поводка (8), системы «наживка – крючок – поводок» (9)–(13), узла крепления поводка к хребтине (14); гибкого каната в потоке (2); хребтины яруса (15), якоря (16)–(20). На основе этих математических моделей на языке программирования Borland Delphi разработан программный комплекс CM-LongLine (Computer Modeling LongLine), позволяющий выполнять компьютерное моделирование всех типов ярусов при наличии течений.

Список литературы

1. Аппель П. Теоретическая механика. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1960. – т. 1. – 516 с., т. 2. – 488 с.
2. Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. – М.: Колос, 2000. – 416 с.
3. Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Основы моделирования рыболовных систем. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – 560 с.
4. Габрюк В.И. Методы проектирования и моделирования рыболовных орудий. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – 432 с.
5. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с.
6. Киттел Ч., Найт В., Рудерман М. Механика. Берклевский курс физики (Том 1). – М.: Наука, 1983. – 448 с.
7. Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами. – М.: ВНИРО, 1994. – 421 с.
8. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматгиз, 2002. – 320 с.
9. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1973. т.1, 536 с. – т.2, 584 с.
10. Bernoulli J. Solutio problematis funicularii. – Acta eruditorum, Lipsiae, 1691. June. P. 262–276.

References

1. Appel P. Teoreticheskaja mehanika. M.: Gos. izd-vo fiz.-mat. literatury, 1960. t. 1. 516 s., t. 2. 488 p.
2. Gabryuk V.I., Kulagin V.D. Mehanika orudij rybolovstva i ARM promyslovika. M.: Kolos, 2000. 416 p.

3. Gabryuk V.I., Chernecov V.V., Bojcov A.N. Osnovy modelirovaniya rybolovnyh si-stem. Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2008. 560 p.

4. Gabryuk V.I. Metody proektirovaniya i modelirovaniya rybolovnyh orudij. Vladi-vostok: Dal'rybvtuz, 2014. 432 p.

5. Zarubin V.S. Matematicheskoe modelirovanie v tehnike. M.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2010. 495 p.

6. Kittel Ch., Najt V., Ruderman M. Mehanika. Berkleevskij kurs fiziki (Tom 1). M.: Nauka, 1983. 448 p.

7. Kokorin N.V. Lov ryby jarusami. M.: VNIRO, 1994. 421 p.

8. Samarskij A.A., Mihajlov A.P. Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery. M.: Fizmatgiz, 2002. 320 p.

9. Sedov L.I. Mehanika sploshnoj sredy. M.: Nauka, 1973. t.1, 536 p. t.2, 584 p.

10. Bernoulli J. Solutio problematis funicularii. Acta eruditorum, Lipsiae, 1691. June. pp. 262–276.

Рецензенты:

Азовцев А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теория и устройство судов», МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток;

Друзь И.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика и сопротивление материалов», МГУ им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток.

УДК 577.114

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПРОДУЦИРУЕМОЙ КУЛЬТУРОЙ MEDUSOMYCES GISEVII

Гладышева Е.К.

ФГБ УН «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения
Российской академии наук, Бийск, e-mail: evg-gladysheva@yandex.ru

Исследовано культивирование бактериальной целлюлозы на синтетической глюкозной среде с использованием симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*. Определены физико-химические свойства очищенного химическими методами образца: массовая доля кислотонерастворимого лигнина, зольность, степень полимеризации целлюлозы и влажность. Установлено, что степень полимеризации бактериальной целлюлозы близка к степени полимеризации хлопковой целлюлозы. Методом инфракрасной спектроскопии установлено, что данный образец бактериальной целлюлозы не содержит лигнина и соответствует основным полосам поглощения функциональных групп бактериальной целлюлозы, выращенной с помощью продуцента *Acetobacter*. Методом электронной микроскопии изучено распределение значений диаметра микрофибрилл в образце бактериальной целлюлозы, в результате установлена упорядоченная структура и рассчитан средний диаметр микрофибрилл 30,6 нм.

Ключевые слова: бактериальная целлюлоза, симбиоз, степень полимеризации, инфракрасная спектроскопия, диаметр микрофибрилл

STUDY INTO PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MEDUSOMYCES GISEVII BACTERIAL CELLULOSE

Gladysheva E.K.

Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Biysk, e-mail: evg-gladysheva@yandex.ru

The cultivation of bacterial cellulose on a synthetic glucose medium using the symbiotic culture *Medusomyces gisevii* was studied. Physicochemical properties of the chemically purified specimen were determined, that is, acid-insoluble lignin content, ash content, cellulose degree of polymerization, and moisture. The bacterial cellulose degree of polymerization was found to be close to that of linter cellulose. Infrared spectroscopy revealed that the said sample of bacterial cellulose contains no lignin and corresponds to the main absorption bands of the functional groups of bacterial cellulose produced by *Acetobacter*. The microfibril diameter distribution in the bacterial cellulose specimen was studied by electron microscopy, the ordered structure being eventually elucidated and the average microfibril diameter estimated at 30.6 nm. Keywords: bacterial cellulose, degree of polymerization, symbiosis, infrared spectroscopy, microfibril diameter distribution

Keywords: bacterial cellulose, degree of polymerization, symbiosis, infrared spectroscopy, microfibril diameter distribution

Целлюлоза – это один из наиболее распространенных природных полисахаридов, который является составным компонентом большинства растительных материалов. Недостатком растительных целлюлоз (кроме хлопковой) является наличие значительных количеств примесей: лигнина, гемицеллюлоз, экстрактивных и минеральных веществ. В отличие от растительной целлюлозы бактериальная целлюлоза (БЦ) имеет ряд преимуществ: высокая чистота, более высокая механическая прочность, кристалличность и гидрофильность при наличии такой же структуры, как и у растительной целлюлозы [9]. В настоящее время ведутся исследования свойств и поиски применения БЦ [6, 10, 11].

Одним из перспективных продуцентов БЦ является *Medusomyces gisevii*. Этот уникальный симбиоз, образованный разными видами дрожжей и уксуснокислых

бактерий. Дрожжевые клетки преобразуют источники углерода и синтезируют этанол, стимулирующий уксуснокислые бактерии к синтезу БЦ, уксуснокислые бактерии синтезируют плавающую целлюлозную сетку, которая защищает клетки дрожжей от неблагоприятных условий окружающей среды. Симбиоз обладает огромным адаптивным потенциалом. Благодаря подвижному симбиотическим отношениям культура легко приспосабливается к изменению внешних условий, стрессам, способна утилизировать различные субстраты, устойчива к фагам [8]. С учетом вышеизложенного целесообразно использовать культуру *Medusomyces gisevii* для биосинтеза БЦ.

Целью данной работы являлось культивирование БЦ на синтетической глюкозной среде с помощью *Medusomyces gisevii* и исследование её физико-химических

свойств, в том числе исследования структуры методом инфракрасной спектроскопии и распределения значений диаметра микрофибрилл в образцах БЦ.

Материалы и методы исследования

В экспериментах использовалась синтетическая питательная среда, приготовленная растворением глюкозы в экстракте черного чая (12 г чая на 1 л воды). В качестве инокулята использовалась семидневная симбиотическая культура, выращенная на глюкозной среде, доза внесения составляла 10%. Начальная концентрация глюкозы составила 20 г/л, уровень активной кислотности саморегулировался симбиозом [5]. Выбор концентрации глюкозы и активной кислотности обоснован в статье [4]. Культивирование проводилось в статических условиях при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 13 суток в реакторе объемом 16 л, коэффициент заполнения 50%.

Структура бактериальной целлюлозы была исследована на инфракрасном спектрофотометре «Инфралюм ФТ-801» в таблетках КВг.

Определение физико-химических характеристик БЦ (массовой доли кислотонерастворимого лигнина, массовой доли золы, массовой доли альфа-целлюлозы, степени полимеризации целлюлозы) проводили согласно стандартным методикам [7]. Влажность была установлена на определителе влажности МВ 23.

Исследование структуры микрофибрилл бактериальной целлюлозы проводили при помощи электронного растрового микроскопа Zeiss SIGMA VP (ЦКП НО «Арктика», САФУ, г. Архангельск).

Результаты исследования и их обсуждение

Гель-плёнка, образующаяся в результате культивирования инокулята, загрязнена остатками компонентов питательной среды, метаболитами и клетками микроорганизмов. Очистка плёнок может быть проведена разными способами: растворами кислот и щелочей, энзимной обработкой, при этом может изменяться диаметр и распределение микрофибрилл БЦ [2].

В данной работе образцы пленок были очищены следующим способом: в течение двух суток пленка выдерживалась в 2%-м растворе NaOH для удаления клеток, затем пленка промывалась в дистиллированной воде до нейтральной реакции, после этого пленку обрабатывали в течение суток в 2%-м растворе HCl для удаления красящих веществ чая, затем пленка промывалась дистиллированной водой до нейтральной реакции среды. Плёнка высушивалась при комнатной температуре в расправленном состоянии.

Методом инфракрасной спектроскопии была установлена структура бактериальной целлюлозы. Сравнение полос поглощения функциональных групп в образцах бактериальной целлюлозы с литературными данными для бактериальной целлюлозы, выращенной с помощью продуцента *Acetobacter* [12], представлено в табл. 1.

Интенсивная полоса $3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями OH-групп. Менее интенсивная в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями групп CH_2 , CH. В спектре целлюлозы интенсивная полоса с максимумом при 1641 см^{-1} принадлежит деформационным колебаниям OH-групп прочно связанной воды. Полоса при 1281 см^{-1} указывает на валентные колебания OH-групп в спиртах. Полосы поглощения в области $1000\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ обусловлены в основном валентными колебаниями C—O—C и C—O в спиртах. Полоса при 899 см^{-1} подтверждает наличие β -1,4 связей. ИК-спектры показывают, что БЦ не содержит примесей, в частности лигнина, присутствующего в растительной целлюлозе, так как отсутствуют полосы поглощения, характерные для ароматических соединений (лигнина).

Таблица 1

Отнесение полос поглощения функциональных групп в образце бактериальной целлюлозы

Отнесение полос поглощения*	Максимум полосы поглощения, см^{-1}	
	БЦ	БЦ [12]
ν OH-групп, участвующих в межмолекулярных и внутримолекулярных H-связях	3432	3408
ν связей в группах CH и CH_2	2919 2852	2897
ν присутствия аминокислот	2135 2234	—
δ связей NOH обусловлено присутствием прочно связанной воды	1641	1635
δ групп OH в CH_2OH	1281	1370
ν связей C—O (характерные для полисахаридов полосы, обусловленные наличием ацетильных связей C—O—C и связей C—O в спиртах)	1059	1163 1060
β -1,4 связи	899	899

Примечания: * ν – валентные колебания, δ – деформационные колебания, БЦ – бактериальная целлюлоза.

В отличие от литературных данных [12], в спектре присутствуют слабые полосы при 2135 и 2234 см^{-1} , указывающие на наличие аминокислот, которые могут принадлежать остаткам клеток дрожжей и бактерий [1].

Полученный образец БЦ был проанализирован по стандартным методикам [7] для определения физико-химических показателей, представленных в табл. 2, в сравнении с данными хлопковой целлюлозы [3].

Таблица 2
Физико-химические показатели
бактериальной целлюлозы
в сравнении с хлопковой

Показатели*	БЦ	Хлопковая целлюлоза [3]
Степень полимеризации целлюлозы	2000	2000
Массовая доля золы, %	0,14	0,10
Массовая доля кислотонерастворимого лигнина, %	0,80	0,50

Примечание. * – в пересчете на а.с.в.

Воздушно-сухая БЦ содержит 4,7 масс. % влаги. Степень полимеризации микробиологической БЦ соответствует степени полимеризации растительной хлопковой целлюлозы, пригодной для химической модификации.

Согласно данным [9] в компонентном составе БЦ отсутствуют примеси лигнина и других сопутствующих компонентов. С целью подтверждения этого факта в образце БЦ была определена массовая доля кислотонерастворимого лигнина по стандартной методике [7], значение – 0,80%. Данный показатель превышает массовую долю кислотонерастворимого лигнина в хлопковой целлюлозе. Однако можно

предположить, что кислотонерастворимый осадок в данном случае представляет собой не истинный лигнин, а кислотонерастворимые лигниноподобные вещества, например фенольные и красящие вещества чая, которые присутствуют в питательной среде. Массовая доля золы в образцах БЦ сравнима с зольностью хлопковой целлюлозы. При попытке определить массовую долю альфа-целлюлозы по стандартной методике для хлопковой целлюлозы было обнаружено, что измельченный образец, помещенный в 17,5%-ный раствор гидроксида натрия, не набухает и не растворяется. Содержание альфа-целлюлозы в образце составило 101,6%, – это свидетельствует о недостаточной промывке образца от гидроксида натрия, а также о высоком содержании высокополимерной целлюлозы.

На рис. 1 приведена сетчатая структура бактериальной целлюлозы, сформированная микрофибриллами.

Для анализа структуры микрофибрилл БЦ проводили статистическую обработку значений их диаметра. В расчете использовали выборку данных, включающую 1000 измерений. На рис. 2 представлено распределение значений диаметров микрофибрилл БЦ от частоты их встречаемости в образце, средний диаметр которой составляет 30,6 нм.

Среднее квадратичное отклонение равно 164,7. Это означает, что диаметры 12,4% единиц выборочной совокупности отклоняются от среднего арифметического диаметра не более чем на $\pm 5,2\%$ для БЦ. Основная ошибка среднего значения является величиной, на которую может отличаться среднее значение выборочной совокупности при том условии, что распределение изучаемого признака приближается к нормальному. Таким образом, среднее значение диаметра фибрилл равно $(30,6 \pm 5,0)$ нм.

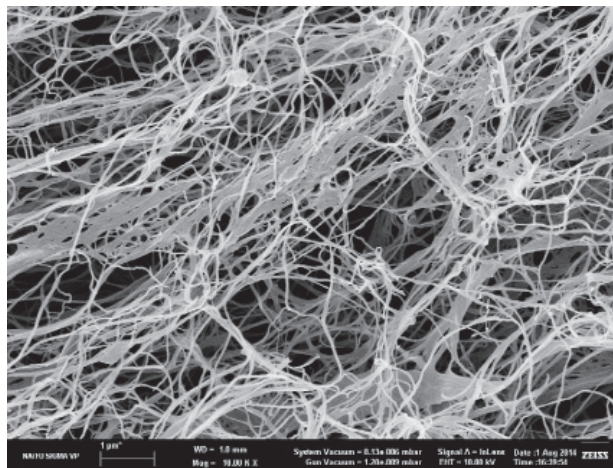


Рис. 1. Структура микрофибрилл БЦ

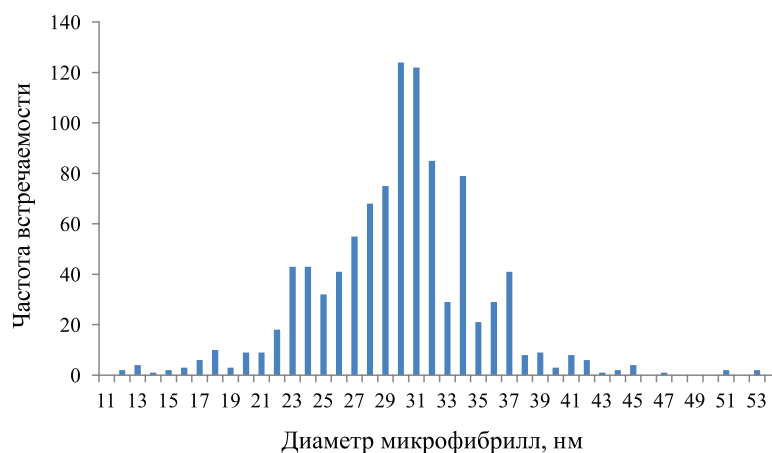


Рис. 2. Распределение значений диаметра микрофибрилл БЦ

Выводы

Исследовано культивирование бактериальной целлюлозы на синтетической глюкозной среде с использованием симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*. Определены физико-химические свойства очищенного химическими методами образца: массовая доля кислотонерастворимого лигнина, зольность, степень полимеризации целлюлозы и влажность. Установлено, что степень полимеризации бактериальной целлюлозы близка к степени полимеризации хлопковой целлюлозы. Методом инфракрасной спектроскопии выявлено, что полученный ИК-спектр не содержит полос поглощения, характерных для ароматических соединений (лигнина), что подтверждает чистоту полученного образца и соответствует основным полосам поглощения функциональных групп бактериальной целлюлозы, выращенной с помощью продуцента *Acetobacter*. Методом электронной микроскопии изучено распределение значений диаметра микрофибрилл в образце бактериальной целлюлозы, в результате установлена упорядоченная структура и рассчитан средний диаметр микрофибрилл 30,6 нм.

Исследование структуры микрофибрилл выполнено с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ, г. Архангельск) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004). Автор выражает признательность администрации ЦКП НО «Арктика» и Чухчину Дмитрию Германовичу, к.т.н., доценту.

Список литературы

- Беллами Л. Новые данные по ИК спектрам сложных молекул. — М.: Мир, 1971. — 320 с.
- Виноградова В.Р., Болотова К.С. Влияние химической и ферментативной обработки бактериальной целлюло-

зы на ее структуру и состав // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (21–23 мая 2014 г., г. Бийск). — Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. — С. 216–218.

- Гисматулина Ю.А., Будаева В.В. Сравнение целлюлоз, выделенных из мискантуса, с хлопковой целлюлозой методом ИК-Фурье спектроскопии Ползуновский вестник. — 2014. — № 3. — С. 177–181.

- Гладышева Е.К. Изучение биосинтеза бактериальной целлюлозы культурой *Medusomyces gisevii* J. Lindau на средах с различной начальной концентрацией глюкозы Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2–1. — С. 13–17.

- Гладышева Е.К., Судакова О.А. Культивирование *Medusomyces gisevii* J. Lindau при различных значениях активной кислотности // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, 21–23 мая 2014 г., г. Бийск. — Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. — С. 284–286.

- Кезина Е.В., Парчайкина О.В., Кадамалиев Д.А., Ревин В.В., Котина Е.А. Получение карбоксиметильных производных бактериальной целлюлозы с высокой степенью замещения Актуальная биотехнология. — 2014. — № 3. — С. 37.

- Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов. — М.: Экология, 1991. — 320 с.

- Юркевич Д.И., Кутышенко В.П. Медузомицет (Чайный гриб): научная история, состав, особенности физиологии и метаболизма Биофизика. — 2002. — № 6. — С. 1116–1129.

- Belgacem M.N. Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources / M.N Belgacem, A. Gandini. — Amsterdam: Elsevier. — 2008. — 553 p.

- Koon-Yang Lee, Gizem Buldum, Anthanasios Mantalaris, Alexander Bismarck. More than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Boisynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites Macromolecular Bioscience. — 2014. — № 6. — P. 10–32.

- Mitrofanov R.Yu., Budaeva V.V., Sakovich G.V. Preparation and Properties of Bacterial Cellulose Gel Films Chemistry for Sustainable Development. — 2010. — № 5. — P. 503–508.

- Xueqiong Yin, Changjiang Yu, Xiaoli Zhang, Jianxin Yang, Qiang Lin, Jinbang Wang, Qingmei Zhu. Comparison of succinylation methods for bacterial cellulose and adsorption capacities of bacterial cellulose derivatives for Cu²⁺ ion Polymer Bulletin. — 2011. — № 67. — С. 401–412.

References

1. Bellami L. Novye dannye po IK spektram slozhnyh molekul. M.: Mir, 1971. 320 s.
2. Vinogradova V.R., Bolotova K.S. Vliyanie himicheskoy i fermentativnoy obrabotki bakterialnoy celljulozy na ee strukturu i sostav / Tehnologii i oborudovanie himicheskoy, biotehnologicheskoy i pishhevoj promyshlennosti: materialy VII Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem (21–23 maja 2014 g., g. Bijsk). Bijsk: Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2014. pp. 216–218.
3. Gismatulina Ju.A., Budaeva V.V. Sravnenie celljuloz, vydelennykh iz miskantusa, s hlopkovoj celljulozoj metodom IK-Fure spektroskopii Polzunovskij vestnik. 2014. no. 3. pp. 177–181.
4. Gladysheva E.K. Izuchenie biosinteza bakterialnoy celljulozy kulturoj *Medusomyces gisevii* J. Lindau na sredah s razlichnoj nachalnoj koncentraciej gljukozy Fundamentalnye issledovanie. 2015. no. 2–1. pp. 13–17.
5. Gladysheva E.K., Sudakova O.A. Kultivirovanie *Medusomyces gisevii* J. Lindau pri razlichnykh znachenijah aktivnoj kislotnosti / Tehnologii i oborudovanie himicheskoy, biotehnologicheskoy i pishhevoj promyshlennosti: materialy VII Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, 21–23 maja 2014 g., g. Bijsk. Bijsk: Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2014. pp. 284–286.
6. Kezina E.V., Parchajkina O.V., Kadimaliev D.A., Revin V.V., Kotina E.A. Poluchenie karboksimetilnykh proizvodnykh bakterialnoy celljulozy s vysokoj stepenju zameshhenija Aktualnaja biotehnologija. 2014. no. 3. pp. 37.
7. Obolenskaja A.V., Elnickaja Z.P., Leonovich A.A. Laboratornye raboty po himii drevesiny i celljulozy: Uchebnoe posobie dlja vuzov. M.: Jekologija, 1991. 320 p.
8. Jurkevich D.I., Kutysenko V.P. Meduzomicet (Chajnyj grib): nauchnaja istorija, sostav, osobennosti fiziologii i metabolizma Biofizika. 2002. no. 6. pp. 1116–1129.
9. Belgacem M.N. Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources / M.N. Belgacem, A. Gandini. Amsterdam: Elsevier. 2008. 553 p.
10. Koon-Yang Lee, Gizem Buldum, Anthanasios Mantalas, Alexander Bismarck. More than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Boisynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites Macromolecular Bioscience. 2014. no. 6. pp. 10–32.
11. Mitrofanov R.Yu., Budaeva V.V., Sakovich G.V. Preparation and Properties of Bacterial Cellulose Gel Films Chemistry for Sustainable Development. 2010. no. 5. pp. 503–508.
12. Xueqiong Yin, Changjiang Yu, Xiaoli Zhang, Jianxin Yang, Qiang Lin, Jinbang Wang, Qingmei Zhu. Comparison of succinylation methods for bacterial cellulose and adsorption capacities of bacterial cellulose derivatives for Cu^{2+} ion Polymer Bulletin. 2011. no. 67. pp. 401–412.

Рецензенты:

Канарский А.В., д.т.н., профессор кафедры пищевой биотехнологии, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань;

Меледина Т.В., д.т.н., профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья Института холода и биотехнологий, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург.

УДК 621.001.5+004.89.002.53

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

¹Горюнова В.В., ¹Горюнова Т.И., ²Кухтевич И.И.¹ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет»,
Пенза, e-mail: gvv17@ya.ru;²ГБОУ ДПО «Пензенский институт усовершенствования врачей»
Минздрава России, Пенза, e-mail: gvv17@mail.ru

В статье рассматриваются основные тенденции в развитии медицинских информационных систем. Описаны принципы мониторинга в электронном здравоохранении. Подчеркивается, что работы по разработке систем показателей, классификаций и инструментария для мониторинга развития электронного здравоохранения активно ведутся как на национальном уровне, так и международными организациями. Приведён практический опыт использования комплекса БАРС «WEB мониторинг здравоохранения». Определены тенденции в развитии медицинских информационных систем с использованием комплекса БАРС, которые связаны с решениями ряда задач, определяемых характером деятельности в ЛПУ. В первую очередь это формирование организационной инфраструктуры мониторинга – обеспечение системы сбора первичных статистических данных, создание или выбор оператора системы мониторинга, в функции которого должны входить организация проведения исследований, обработки первичных данных, анализа результатов мониторинга и подготовки аналитических отчетов и публикаций. А также создание единой базы данных показателей здравоохранения субъекта РФ.

Ключевые слова: медицинские информационные системы, мониторинг, электронное здравоохранение

THE MAIN TRENDS OF MEDICAL INFORMATION SYSTEMS

¹Goryunova V.V., ¹Goryunova T.I., ²Kukhtevich I.I.¹Penza State Technological University, Penza, e-mail: gvv17@ya.ru;²Penza State Institute of Advanced Medical Education, Penza, e-mail: gvv17@mail.ru

In the article we have considered actual issues of the main trends in the development of health information systems and principles of monitoring in eHealth. Also, we have emphasized that the work on the development of systems of indicators, classifications and tools for monitoring the development of e-health are actively conducted at the national level and international organizations. We have given practical experience in the use of complex BARS «WEB monitoring of health care» and determined tendencies in the development of health information systems using complex BARS, which are associated with a number of tasks defined by the nature of the activities in hospitals. First of all is the formation of organizational infrastructure monitoring – ensuring system for the collection of primary statistical data, the creation or selection of an operator monitoring system, whose functions should include the organization of research, processing of the raw data, analyzing the results of monitoring and preparation of analytical reports and publications. As well as the creation of a single database of health indicators of the subject of Russian Federation.

Keywords: medical information systems, monitoring, e-health

Качество медицинских услуг – главный критерий, по которому клиенты и государство оценивают деятельность лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ). Формирование качества медицинского обслуживания невозможно без наличия в ЛПУ медицинских информационных систем (МИС), интегрированных в систему электронного здравоохранения. Это достигается внедрением в организацию работы ЛПУ электронного документооборота с возможностью групповой работы над различными документами (электронной амбулаторной картой, электронной историей болезни и т.д.)

Принципы мониторинга в развитии электронного здравоохранения

Важную роль в разработке и реализации программ развития здравоохранения

на основе МИС играет налаженная система мониторинга. Она выполняет функцию обратной связи и позволяет контролировать результаты выполнения программ и следить за продвижением к целевым показателям; получать необходимую информацию о возникающих диспропорциях и препятствиях для своевременной корректировки программ и стратегий развития электронного здравоохранения.

В большинстве случаев под публикацией в Интернет подразумевается наличие собственного Web-сайта ЛПУ (поликлиники, медицинского центра и т.д.), представляющего собой набор статических HTML-страниц. При этом имеющиеся представления информации не только преимущественно статические, но и используют разные способы визуализации,

обладают разнообразными интерфейсами, плохо структурированы, не имеют средств интеграции и поиска [2–5]. Использование разных способов структурирования информации и, как следствие, разных систем навигации ставит практически неразрешимые проблемы идентификации местоположения ресурсов и возможности распределенного поиска [1, 6]. Работы по разработке систем показателей, классификаций и инструментария для мониторинга развития электронного здравоохранения активно ведутся как на национальном уровне, так и международными организациями, однако в полном объеме эта задача все еще не решена. Утвержденной общей системы показателей для мониторинга электронного здравоохранения и рекомендуемого инструментария пока не существует, но основа европейских мониторинговых исследований и дальнейших разработок в этой области заложена в специальных исследованиях и результатах реализованных Европейской Комиссией проектов по разработке показателей развития информационного общества (SIBIS, BISER, PRISMA). В частности, в указанных исследованиях предлагались и использовались следующие показатели:

- Показатели использования интернета населением для получения медицинской информации и услуг [5,10,11]:

- *интерес к получению онлайн-услуг и готовность за них платить;*
- *поиск медицинской информации в интернете;*
- *причины поиска информации, доступность требуемой информации, пригодность найденной информации, уровень доверия к различным поставщикам информации;*
- *готовность использовать различные медицинские МИС-приложения.*

- Показатели использования МИС врачами общей практики [11]:

- доступ к компьютеру и интернету на рабочем месте;
- использование различных МИС для работы;
- использование интернета для поиска информации, взаимодействия с коллегами, другими ЛПУ, аптеками и пациентами, обмена медицинскими электронными картами;
- использование электронных медицинских карт пациентов;
- использование электронной цифровой подписи;
- наличие и использование веб-сайта практики.

Перспективным исследованием в решении представленных проблем является использование принципов «инженерии он-

тологий», представляющие описание концептуальных областей ЛПУ [7–9].

Таким образом, для реализации системы мониторинга в электронном здравоохранении должны быть решены следующие задачи:

1. Разработка концептуальных основ мониторинга (концепция и предметные области, основные понятия электронного здравоохранения, классификаторы и т.п.).

2. Разработка системы показателей развития здравоохранения на основе МИС, согласованной с целями национальных проектов и программ в области здравоохранения и развития информационного общества.

3. Разработка инструментария для сбора первичных данных (формы статистической отчетности, анкеты и методы проведения социологических и специальных исследований).

4. Разработка методик обработки первичных данных и расчета показателей.

5. Создание программно-технического обеспечения мониторинга (разработка информационной системы сбора, хранения и статистической обработки первичных данных).

6. Формирование организационной инфраструктуры мониторинга – обеспечение системы сбора первичных статистических данных, создание или выбор оператора системы мониторинга, в функции которого должны входить организация проведения исследований, обработки первичных данных, анализа результатов мониторинга и подготовки аналитических отчетов и публикаций.

7. Создание нормативно-правовой базы мониторинга (система нормативных актов, определяющих состав показателей развития электронного здравоохранения, утверждающих формы статистической отчетности и порядок сбора первичных данных, использования результатов мониторинга и их публикации).

Основные возможности использования программного комплекса БАРС

Основные тенденции в развитии медицинских информационных систем с использованием комплекса БАРС связаны с решениями ряда задач, определяемых характером деятельности в ЛПУ, примерный перечень которых представлен ниже [7–11]:

- Переход от бумажных носителей к электронному документообороту в ЛПУ.

- Планирование рабочего времени сотрудников ЛПУ.

- Генерация полной медицинской картины в режиме реального времени в едином информационном окне.

- Контроль качества медицинских услуг в соответствии с медико-экономическими стандартами.

- Управление экономическими показателями ЛПУ.

- Создание единой БД показателей здравоохранения субъекта РФ.

Программный комплекс БАРС обладает модульной структурой. Архитектура каждого модуля спроектирована для поддержки всех функций автоматизации ЛПУ.

В модуле Регистратура осуществляется заведение карты пациента, запись на первичный прием. В модуле Касса фиксируется оплата платных услуг. В модуле Проходная формируется маршрутная карта. Проведение предварительных исследований отражается в модуле Общая диагностика. Данные о проведенном приеме заносятся в модуль Врачебный прием. Модуль Диагностические исследования предназначен для занесения информации о проведенных исследованиях. Модуль Процедурный кабинет включает данные проведенных процедур. Модуль Неотложная помощь характеризует приемы пациентов по неотложной помощи. В модуле Статистическая отчетность формируются аналитический и статистический отчеты. Модуль Администратор системы осуществляет контроль результатов работы сотрудников.

Автоматизированная система «БАРС. Здравоохранение – Паспорт ЛПУ» предназначена для ведения паспортов медицинских учреждений на территории региона в соответствии с требованиями нормативных правовых актов Российской Федерации и передачи данных о них в Федеральный регистр паспортов медицинских учреждений. Передача регионального сегмента регистра медицинских организаций на федеральный уровень происходит в соответствии с требованиями «Регламента передачи данных из Регионального сегмента единого информационного пространства в сфере здравоохранения в Федеральный сегмент в части федеральных управленческих прикладных систем».

Автоматизированная система «БАРС. Стационар» включает модули, определенные для стационарных учреждений. Заведение карты пациента осуществляется в модуле Приемный покой. Данные о количестве занятых / свободных койко-мест рассчитываются в модуле Коечный фонд. Модуль Склад медикаментов предназначен для учета медикаментов и контроля, за их движением от склада до применения. В модуле Лечебное отделение происходит создание плана обследования, работа с картой пациента и назначение операций. В модуле Операционный блок – распределение пациентов по очереди, составление протокола после операции. В модуле Диагностика за-

несение информации о проведенных исследованиях, импорт результатов с оборудования. В модуле Статистическая отчетность формируются аналитический и статистический отчеты. Модуль Администратор системы осуществляет контроль результатов работы сотрудников.

В системе реализованы механизмы взаимодействия на уровне обмена данными с программным обеспечением, которое функционирует в МИАЦ, страховых компаниях и т.п., что позволяет своевременно предоставлять данные в эти организации. Данный механизм взаимодействия реализуется системой «БАРС. Web-Мониторинг Здравоохранения» [11].

Информационно-аналитическая система «БАРС. Web-Мониторинг Здравоохранения» представляет собой программный комплекс, предназначенный для централизованного сбора, обработки и контроля индикаторов системы здравоохранения Пензенской области. Web-технология, применяемая для сбора информации со всех учреждений здравоохранения, на основе набора статистических форм отчетности, обеспечивает поступление данных сразу в хранилище в режиме онлайн (рисунок).

Руководство здравоохранения может оперативно собирать любые показатели со всей сети подведомственных учреждений через интернет. Данные из всех МИС в режиме реального времени транслируются на информационную панель руководителя. Они могут быть представлены в виде графиков, диаграмм и карт. Подключиться к информационной панели можно в любое время, в любой географической точке, где есть интернет.

Программный комплекс «БАРС. Web-Мониторинг Здравоохранения» состоит из трех подсистем:

1. Подсистема сбора информации, основанная на Web-технологии, позволяющая в режиме онлайн собирать информацию с любых учреждений через интернет;

2. Репозиторий показателей системы – OLAP-хранилище данных на основе XML-технологии. Он обеспечивает систематизацию и хранение в структурированном виде большого объема статистических данных в динамике по периодам.

- 3 Подсистема мониторинга – функциональный блок, отвечающий за формирование заранее настроенных OLAP-отчетов, а также просмотр всех статистических данных репозитория в разных «плоскостях» и «разрезах». Набор графических представлений информации позволяет максимально упростить принятие управленческих решений на уровне министерства.

Заполнение отчётных форм

Хранилище данных и сервер приложений функционируют централизованно на выделенном сервере ГБУЗ «Пензенский областной информационно-аналитический центр» в Центре обработки данных. Учреждения подключены к информационно-аналитической системе «БАРС. Web-Мониторинг Здравоохранения» и работают в ней с использованием удаленного доступа. В качестве системы управления базами данных используется сервер базы данных *Oracle 10g*, методы «инженерии онтологий», обеспечивающие повышенный уровень сохранности информации при отказах технических и программных средств.

Заключение

Внедрение программного комплекса БАРС становится в отдельно взятом учреждении фундаментом для развития информатизации здравоохранения региона. Такое внедрение предполагает создание инструментария для сбора первичных данных (формы статистической отчетности, анкеты и методы проведения социологических и специальных исследований), разработку методик обработки первичных данных и расчета показателей. А также создание программно-технического обеспечения мо-

нитинга (разработка информационной системы сбора, хранения и статистической обработки первичных данных) и регионального центра телемедицинского консультирования [12–14].

Территориальные органы управления здравоохранения могут получить инструменты для контроля состояния как системы здравоохранения в целом, так и отдельно взятого учреждения. Обмен информацией между разными учреждениями позволит экономить время при направлении пациентов в крупное медицинское учреждение регионального уровня. Под обменом понимается не только передача медицинских записей, но и единая региональная медицинская регистратура.

Список литературы

1. Горюнова В.В. Онтологический подход к проектированию систем технического обслуживания // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 12. – С. 24–29.
2. Горюнова В.В. Использование модульных онтологий при создании центров обработки данных медицинского назначения // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2011. – № 1. – С. 300–303.
3. Горюнова Т.И. Исследование и разработка рекомендаций по оптимизации внедрения технологий телемедицины // 5 межрегиональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «инновационные технологии

в экономике, информатике, медицине и биотехнологиях»: тезисы докл. конф. (Пенза, ПГТА, 8–9 ноябр. 2012 г.). – С. 37–41.

4. Горюнова Т.И. и др. Основные характеристики корпоративного сайта медико-социального назначения // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 63–64.

5. Горюнова Т.И. Социологические аспекты исследований по оптимизации внедрения технологий телемедицины // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 67–68.

6. Горюнова Т.И., Щелбанова И.В. Разработка алгоритма рубрицирования медико-социальных данных // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 68–69.

7. Горюнова В.В. и др. Особенности проектирования интегрированных медицинских систем на основе концептуальных спецификаций // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11–9. – С. 67–73.

8. Горюнова В.В., Горюнова Т.И., Жилиев П.С. Многоуровневые структуры интегрированных медицинских систем // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 122–122.

9. Горюнова В.В. и др. Использование информационных технологий и концептуальных спецификаций при оценке качества жизни населения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 130–131.

10. Жилиев П.С., Горюнова Т.И., [и др.] Автоматизированные системы для организации профилактических осмотров населения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 126–126.

11. Жилиев П.С., Горюнова Т.И., Завьялова Д.А. Внедрение информационно-аналитической системы «барс». Web-мониторинг здравоохранения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 126–127.

12. Жилиев П.С., Горюнова Т.И. Организация телемедицинской системы Пензенской области // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 127–127.

13. Жилиев П.С., Горюнова Т.И. Проект развития сети телемедицинского консультирования для решения задач лечебной профилактики и диагностики // 5 межрегиональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «инновационные технологии в экономике, информатике, медицине и биотехнологиях»: тезисы докл. конф. (Пенза, ПГТА, 8–9 ноябр. 2012 г.). – С. 34–37.

14. Жилиев П.С., Горюнова В.В. Проект регионального центра телемедицинского консультирования // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–1. – С. 68–68.

References

1. Gorjunova V.V. Avtomatizacija i sovremennye tehnologii, 2009, no. 12, pp. 24–29.

2. Gorjunova V.V. Innovacii na osnove informacionnyh i kommunikacionnyh tehnologij, 2011 no.1, pp. 300–303.

3. Gorjunova T.I. 5 mezhregional nanauchno-prakticheskaja konferencija studentovi aspirantov «innovacionnye tehnologii v jekonomike, informatike, medicine i biotehnologijah» (Proc. 5th Reg. Conf. «Innovative technologies in the economy, science, medicine and biotechnology, PGTA»). Penza, 2012, pp. 37–41.

4. Gorjunova T.I. i dr. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2013, Vol. 1, no.8, pp. 63–64.

5. Gorjunova T.I. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2013, Vol. 1, no. 8, pp. 67–68.

6. Gorjunova T.I., Shhelbanina I.V. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2013, Vol. 1, no.8, pp. 68–69.

7. Gorjunova V.V. i dr. Fundamentalnye issledovanija, 2013, Vol. 9, no. 11, pp. 67–73.

8. Gorjunova V.V., Gorjunova T.I., Zhiljaev P.S. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2014, no. 5, pp. 122–122.

9. Gorjunova V.V. i dr. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2014, Vol. 1, no.5, pp. 130–131.

10. Zhiljaev P.S., Gorjunova T.I. 5 mezhregional nanauchno-prakticheskaja konferencija studentovi aspirantov «innovacionnye tehnologii v jekonomike, informatike, medicine i biotehnologijah» (Proc. 5th Reg. Conf. «Innovative technologies in the economy, science, medicine and biotechnology, PGTA»). Penza, 2012, pp. 34–37.

11. Zhiljaev P.S. i dr. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2014, Vol. 1, no. 5, pp. 126–126.

12. Zhiljaev P.S., Gorjunova T.I., Zavjalova D.A. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2014, Vol. 1, no. 5, pp. 126–127.

13. Zhiljaev P.S., Gorjunova T.I. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2014, Vol. 1, no. 5, pp. 127–127.

14. Zhiljaev P.S., Gorjunova V.V. Sovremennye naukoemkie tehnologii, 2013, Vol. 1, no. 8, pp. 68–68.

Рецензенты:

Молотилев Б.А., д.м.н., профессор, зав. кафедрой «Иммунология», ГБОУ ДПО «Пензенский институт усовершенствования врачей», г. Пенза;

Михеев М.Ю., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии и системы», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза.

УДК 534.321.9

РАННЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ МЕТЕОСЛУЖБ АЭРОПОРТОВ О ШТОРМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ПРИЕМА ИНФРАЗВУКА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И СВЧ ЗОНДИРУЮЩИХ ЛУЧАХ

Дубянский С.А.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва, e-mail: sergeydubynskiy@rambler.ru*

В статье рассматривается метод раннего предупреждения метеослужб аэропортов о штормах с использованием параметрического устройства приема инфразвука на ультразвуковом и СВЧ зондирующих лучах. Описаны особенности возбуждаемого океаническими волнами инфразвука, затрудняющие его регистрацию обычными измерительными приборами. Показано, что регистрирующее устройство на ультразвуковом луче существенно узкополоснее устройства на СВЧ луче. Узкополосность регистрирующего устройства в этом случае следует отнести к его положительным качествам, так как оно не реагирует на волновые возмущения вне инфразвукового диапазона частот и, следовательно, достаточно хорошо защищено от помех. Приведены результаты сравнительного исследования чувствительности и направленных свойств регистрирующих устройств при использовании ультразвукового и СВЧ зондирующих лучей. Предложена схема аппаратной реализации параметрического регистрирующего устройства. Показано, что для регистрации достаточно малых фазовых сдвигов в регистрирующем устройстве на ультразвуковом зондирующем луче целесообразно использование методов микрофазометрии.

Ключевые слова: шторм, метеослужба аэропорта, инфразвук, параметрическое устройство, зондирующий луч

EARLY WARNING OF WEATHER SERVICES OF AIRPORTS ABOUT STORMS WITH USE OF PARAMETRIC DEVICE OF RECEPTION OF INFRA-AUDIBLE SOUND ON ULTRASONIC AND MICROWAVE PROBING BEAMS

Dubynskiy S.A.

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, e-mail: sergeydubynskiy@rambler.ru

The method of early warning of weather services of airports about storms with use parametric device of reception of infra-audible sound on ultrasonic and microwave boring beams is considered. The distinctive features of ocean waves-induced infra-sound complicating its registration by ordinary measuring equipment are described. The device registering wave disturbances on ultrasonic beam is proven to be more narrow-banded than the microwave beam based device. The bandlimitedness of this device can be considered as an advantage because of its interference protection properties. The results of comparative analysis of sensitivity and directional response characteristics of considered devices are revealed. The scheme of hardware realization of the parametrical registering device is offered. For registration of enough small phase shifts in the registering device on the ultrasonic probing beam the method of phase deviation analysis is proven to be the most appropriate.

Keywords: storm, airport weather service, infra-audible, parametric device, probing beam

Штормы в морях и океанах являются мощными источниками инфразвука. Он возникает вследствие турбулентности потоков жидкостей и газов, имеющей место при шторме. При этом инфразвуковые волны, называемые «голосом моря» и имеющие частоту 8–13 Гц, обгоняя распространение самого шторма, передвигающегося со скоростью $V_{ш} = 20\text{--}30$ м/с (72–108 км/ч), могут служить предвестником шторма в приморских районах [1].

Они распространяются своеобразно: излучение сначала идет вверх, на высотах порядка 50 км изменяет свое направление, а затем на расстоянии 200–300 км от источника возвращается к поверхности Земли, отражается от нее и вновь уходит вверх, обгоняя распространение самого шторма, и доходит до берега по воде со

скоростью $V_{вода} = 1600$ км/ч, а по воздуху – $V_{возд} = 1200$ км/ч. Его регистрация может быть использована для раннего предупреждения метеослужб приморских аэропортов о приближающихся опасных атмосферных возмущениях. При расстоянии $R = 1000$ км от района шторма до аэропорта время прихода инфразвука составляет:

по воде –

$$T_{вода} = R/V_{вода} \approx 0,63 \text{ ч} \approx 37,5 \text{ мин},$$

а по воздуху

$$T_{возд} = R/V_{возд} \approx 0,83 \text{ ч} \approx 50 \text{ мин},$$

что существенно меньше времени прихода шторма

$$T_{ш} = R/V_{ш} = 9,3\text{--}13,9 \text{ ч}.$$

Инfrasound занимает относительно небольшой участок частотной шкалы: от 20 до 0 Гц. Он разбит на ряд поддиапазонов: от 20 до 1 Гц; от 1 до 0,1 Гц; от 0,1 до 0,01 Гц; от 0,01 до 0,001 Гц. При этом акустические колебания ниже 0,01 Гц называются субинфразвуковыми. Интенсивность инфразвука в децибелах относительно порога слышимости $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² [3] составляет 75–95 дБ, что соответствует интенсивности $I = 3,2 \cdot 10^{-5} - 3,2 \cdot 10^{-3}$ Вт/м². Поскольку избыточное звуковое давление δP , вызванное возмущением среды типа акустических волн, связано с их интенсивностью соотношением

$$\delta P = \sqrt{I m a}, \quad (1)$$

где m и a – плотность среды и скорость распространения в ней регистрируемой волны, для воды соответственно, равные 10^3 кг/м³ и $1,5 \cdot 10^3$ м/с, а для воздуха – $1,3$ кг/м³ и 330 м/с, указанному выше диапазону значений интенсивности соответствует диапазон значений избыточного давления δP : 6,9–69 мбар для воды и 0,4–3,6 мбар для воздуха.

Многие составляющие спектра инфразвука, особенно в его низкочастотной части, не регистрируются обычными измерительными приборами. В этой связи поиск технических средств, не имеющих таких ограничений, является актуальной научно-технической задачей. В [4] рассмотрен принцип приема упругих (в частности, акустических) волн, основанный на регистрации продуктов параметрического взаимодействия волн в среде, накопленных по длине зондирующего луча, колебания в котором имеют ту же, что и регистрируемые колебания, или отличную от них физическую природу. Это могут быть СВЧ, оптический или ультразвуковой лучи. При этом с точки зрения условий распространения для регистрации возмущений в воздухе целесообразно использование СВЧ луча, а в воде – ультразвукового.

В [4] показано, что девиация фазы колебаний в луче, вызванная изменением скорости распространения волн в нем под воздействием возмущения среды, равна

$$\delta \psi(\rho, \alpha) = \Delta \psi \left| \frac{\sin[\pi \rho (\cos \alpha - g)]}{\pi \rho (\cos \alpha - g)} \right|, \quad (2)$$

где $\Delta \psi = 2\pi \mu g z \rho$ – максимум девиации фазы; $\mu = \delta c/c$ – относительное изменение скорости в луче под воздействием возмущения среды; $g = a/c$; $z = v/\omega$; $\rho = L/\lambda$, L и λ – длины луча и волны регистрируемых

колебаний; a и c – скорости распространения регистрируемых волн и волн в зондирующем луче; ω и v – угловые частоты этих волн; α – угол между лучом и направлением распространения возмущения.

Поскольку для накопления полезного эффекта в зондирующем луче необходимо, чтобы за время распространения в нем волн $\tau = L/c$ волновой процесс существенно не изменялся, полоса пропускания регистрирующего устройства на зондирующем луче может быть принята равной

$$\delta f = 1/\tau = c/L. \quad (3)$$

При этом, так как скорость распространения ультразвука существенно меньше скорости распространения электромагнитных волн, регистрирующее устройство на ультразвуковом луче существенно узкополоснее устройства на СВЧ луче. При регистрации инфразвука с использованием устройств на ультразвуковом и СВЧ лучах в (1) параметр g приближенно можно положить соответственно равным 1 и 0.

Зависимость $\delta \psi(\rho, \alpha)$ от α может рассматриваться как диаграмма направленности (ДН) регистрирующего устройства. Из анализа (2) следует, что максимум ДН в случае использования СВЧ зондирующего луча имеет место при $\alpha = \pm \pi/2$, а в случае использования ультразвукового луча – при $\alpha = 0$. При этом ширина ее главных лепестков по нулевому уровню в указанных случаях при условии $\rho \gg 1$ соответственно равна

$$\delta \alpha = (2/\rho) \text{ рад.} \quad (4)$$

и

$$\delta \alpha = 2(2/\rho)^{1/2} \text{ рад.} \quad (5)$$

В предположении относительно небольшой величины вызванного возмущением среды избыточного давления δP приближенная линеаризованная зависимость приращения скорости распространения волн в зондирующем луче δc от δP может быть представлена в виде

$$\delta c = (dc/dP) \delta P, \quad (6)$$

где dc/dP – крутизна зависимости $c(P)$ для невозмущенной среды, которая в случае регистрации акустических волн в воздухе с использованием электромагнитного, в частности СВЧ, луча равна 81 м/с мбар [4]. Для случая регистрации акустических (в частности, инфразвуковых) волн, как показано в [5], эта крутизна равна $6,7 \cdot 10^{-7}$ м/с мбар.

Для оценки чувствительности устройств регистрации волновых возмущений на зондирующих лучах различной физической природы необходимо произвести анализ

максимума девиации фазы, который с учетом (2) и (6) можно представить в виде

$$\Delta\psi = (2\pi f L / c^2) (dc/dP) \delta P, \quad (7)$$

где $f = v/2\pi$ – частота волн в зондирующем луче в герцах.

Максимально возможная длина ультразвукового зондирующего луча $L_{\max}$ может быть определена из условия согласования полосы пропускания регистрирующего устройства, определяемой соотношением (3), с полосой, занимаемой регистрируемым инфразвуком, порождаемым океаническими штормами. При этом с учетом того, что, как отмечалось, $\delta f_{\max} = 13$ Гц, из (3), полагая скорость распространения ультразвука в воде $c = 1,5 \cdot 10^3$ м/с, имеем $L_{\max} = 111,5$ м. Поскольку при скорости распространения СВЧ радиоволн в воздухе $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, как следует из (3), полоса пропускания регистрирующего устройства на СВЧ луче при любых реальных длинах луча практически не ограничена, длина луча может выбираться достаточно произвольно.

Заметим, что узкополосность регистрирующего устройства с ультразвуковым зондирующим лучом может рассматриваться как его достоинство, поскольку она позволяет избежать влияния на него помех с частотами, выходящими за диапазон инфразвука.

При анализе примем следующие значения параметров зондирующего луча и среды. Для СВЧ луча при работе в воздушной среде: $f = v/2\pi = 9,4$ ГГц, что соответствует типичной для СВЧ техники длине волны $\lambda = 3,2$ см; $L = 100$ м; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; $dc/dP = 81$ м/с·мбар; $\delta P = 0,4\text{--}3,6$ мбар. Для ультразвукового луча при работе в водной среде: $f = v/2\pi = 100$ кГц; $L = 100$ м, $c = 1,5 \cdot 10^3$ м/с, $dc/dP = 6,7 \cdot 10^{-7}$ м/с·мбар, $\delta P = 6,9\text{--}69$ мбар.

При этом из проведенных по формуле (7) расчетов следует, что для диапазонов значений избыточного давления δP , соответствующих указанной выше интенсивности сопровождающего океанические штормы инфразвука $I = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{--} 3,2 \cdot 10^{-3}$ Вт/м² максимум девиации фазы для СВЧ луча в воздухе находится в пределах $\Delta\psi = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{--} 1,9 \cdot 10^{-2}$ рад., а для ультразвукового луча в воде $\Delta\psi = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{--} 1,3 \cdot 10^{-3}$ рад.

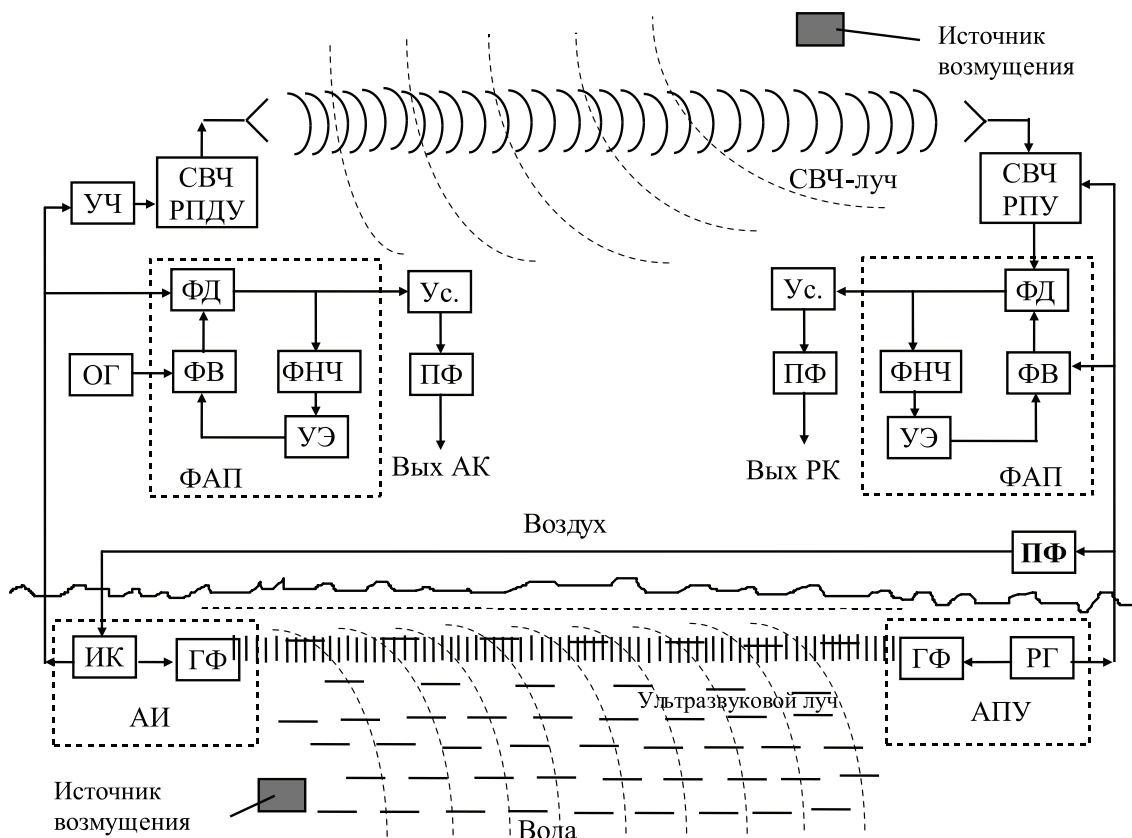
Оценим также направленные свойства рассматриваемых устройств регистрации инфразвука. При длине луча $L = 100$ м, полагая частоту вызываемой штормом инфразвуковой волны равной ее среднему значению $f = 10,5$ Гц, которому соответствует длина волны в воде $\lambda = a/f = 143$ м ($a = 1,5 \cdot 10^3$ м/с) и длина волны в воздухе $\lambda = a/f = 31,4$ м ($a = 330$ м/с), имеем: для ультразвукового луча в воде $\rho = L/\lambda = 0,7$,

для СВЧ луча в воздухе $\rho = L/\lambda = 3,2$. При этом из (4) получаем ширину ДН регистрирующего устройства на СВЧ луче $\delta\alpha = 0,63$ рад. $= 36^\circ$. Что касается ДН регистрирующего устройства на ультразвуковом луче, то ее можно считать практически всенаправленной, поскольку при $\rho < 1$ ДН устройства близка к круговой. С учетом того, что направление прихода инфразвуковой волны точно не известно, слабую направленность ДН устройства на СВЧ луче и всенаправленность ДН устройства на ультразвуковом луче следует отнести к их достоинствам.

Узкополосность регистрирующего устройства на ультразвуковом луче в рамках решаемой задачи также следует отнести к его положительным качествам, так как оно не реагирует на волновые возмущения вне инфразвукового диапазона частот и, следовательно, достаточно хорошо защищено от помех.

Остановимся на вопросах аппаратной реализации параметрического регистрирующего устройства. На рисунке приведен вариант структурной схемы радиоакустического регистрирующего устройства с ультразвуковым и СВЧ зондирующими лучами, предназначенного для регистрации инфразвука в двух средах: водной и воздушной. Оно работает следующим образом. Формирование ультразвукового сигнала в зондирующем луче осуществляется с помощью акустического излучателя (АИ), состоящего из источника колебаний (ИК), в котором производится преобразование электрических колебаний в акустические колебания ультразвукового диапазона, и гидрофона (ГФ), излучающего ультразвуковые колебания в водную среду. На приемном конце зондирующего луча осуществляется обратное преобразование акустических колебаний в электрические с помощью акустического приемного устройства (АПУ), состоящего из ГФ и регенератора (РГ). Гидроакустический канал регистрирующего устройства может рассматриваться в качестве пространственного генератора, в котором роль цепи обратной связи играет радиоканал.

При этом из колебаний, поступающих с выхода ИК, с помощью умножителя частоты (УЧ) формируются СВЧ колебания, излучаемые далее СВЧ радиопередающим устройством (СВЧ РПДУ). Прием СВЧ колебаний в зондирующем луче осуществляется супергетеродинным СВЧ радиоприемным устройством (СВЧ РПУ), в котором гетеродинная частота формируется из сигнала, поступающего с выхода РГ на приемном конце гидроакустического канала, чем обеспечивается когерентность обработки в радиоакустическом регистрирующем устройстве.



Структурная схема радиоакустического регистрирующего устройства с ультразвуковым и СВЧ зондирующими лучами, предназначенного для регистрации инфразвука в водной и воздушной средах

Особенность обработки сигнала в радиоканале заключается в том, что опорная фаза колебаний передается не по УКВ радиоканалу, как это делается в регистрирующем устройстве с СВЧ зондирующим лучом, описанном в [6], а по гидроакустическому каналу, используемому для регистрации инфразвуковых колебаний в водной среде. Сигналы на выходах гидроакустического и радиоканала формируются с помощью усилителей (Ус.) и полосовых фильтров (ПФ), включенных на выходах фазовых дискриминаторов (ФД), выделяющих сигналы рассогласования в системах фазовой автоподстройки (ФАП).

Заметим, что рассматриваемое регистрирующее устройство может быть использовано как для раннего предупреждения об океанических штормах, так и для создания системы защиты акваторий от несанкционированного проникновения в них морских судов. При этом, поскольку полоса частот с максимальным уровнем акустического излучения морских судов расположена в диапазоне от 16 до 31,5 Гц, для расширения полосы пропускания регистрирующего устройства необходимо уменьше-

ние длины зондирующего луча L . Полагая $L = 40$ м, из (3) получаем $\delta f = c/L = 37,5$ Гц, что достаточно для регистрации акустического излучения морских судов.

Для регистрации достаточно малых фазовых сдвигов в регистрирующем устройстве на ультразвуковом зондирующем луче, целесообразно использование методов микрофазометрии, позволяющих регистрировать фазовые сдвиги порядка 10^{-8} рад. [2]. Предложен векторный микрофазометрический преобразователь, принцип работы которого состоит в следующем. Производится периодическое векторное вычитание колебаний, разность фаз между которыми подлежит измерению,

$$U_1(t) = U_m \sin(vt - \psi_1)$$

и

$$U_2(t) = U_m \sin(vt - \psi_2)$$

из опорного сигнала той же частоты $U_0(t) = U_m \sin vt$.

В предположении малости ψ_1 и ψ_2 формируется амплитудно-модулированное колебание с глубиной модуляции, определяемой разностью фаз колебаний $U_1(t)$

и $U_2(t)$. При этом амплитуда этих колебаний с периодом $T = 2\pi/\Omega$, где Ω – частота коммутации устройства векторного вычитания колебаний, изменяется, принимая значения $\Delta U_i \equiv U_m \psi_i$, $i = 1, 2$, причем изменение амплитуды пропорционально измеряемому фазовому сдвигу

$$\Delta U = U_2 - U_1 \equiv U_m(\psi_2 - \psi_1) = U_m \Delta\psi. \quad (8)$$

Заметим, что различие в скорости распространения инфразвуковых волн, сопровождающих штормы в морях и океанах, может быть использовано для определения расстояния R до места возникновения шторма. Действительно, поскольку задержка момента регистрации инфразвука по воздушному каналу относительно момента регистрации по водному каналу равна

$$\begin{aligned} \Delta T &= \left(\frac{R}{V_{\text{возд}}} \right) - \left(\frac{R}{V_{\text{вода}}} \right) = \\ &= \frac{R}{(V_{\text{вода}} - V_{\text{возд}})/V_{\text{возд}} \cdot V_{\text{вода}}} = R_{[\text{км}]} / 4800 \text{ ч.} \\ \Delta T &= (R/V_{\text{возд}}) - (R/V_{\text{вода}}) = \\ &= R / [(V_{\text{вода}} - V_{\text{возд}})/V_{\text{возд}} \cdot V_{\text{вода}}] = R_{[\text{км}]} / 4800 \text{ ч.} \end{aligned}$$

Отсюда получаем

$$R_{[\text{км}]} = 4800 \Delta T_{[\text{ч}]} \quad (9)$$

Список литературы

1. Андреева Б.Б. Физические основы распространения звука в океане. – М.: Гидрометеиздат, 1975.
2. Бернштейн И.Л. Опыт Саньяка на радиоволнах // Доклады АН СССР. – 1950. – т. 36, № 4.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. – Т. 1. – М.: Наука, 1967.
4. Рубцов В.Д. Прием волновых возмущений при помощи узконаправленных колебаний // Радиотехника и электроника. – 1997. – т. 42, № 6.

5. Рубцов В.Д., Дубянский С.А. Анализ характеристик устройств регистрации волновых возмущений в среде с использованием оптических, СВЧ и ультразвуковых лучей // Вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 209.

6. Рубцов В.Д., Дубянский С.А. Определение акусто-эмиссионных характеристик воздушных судов с использованием параметрических регистрирующих устройств на СВЧ и оптических лучах // Вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 209.

References

1. Andreeva B.B. Fizicheskie osnovi rasprostraneniya zvuka v okeane (Physics basis of spreading of sound in ocean). M.: Gidrometeoizdat, 1975.
2. Bernsheyn I.L. Opyt Sanyaka na radiovolnax (Experience of Sanyak on radio-waves) // Doklady AN SSSR, 1950, t. 36, no. 4.
3. Zisman G.A., Todes O.M. Kurs obshchey fiziki (The course of general physics). T. 1. – M.: Nauka, 1967.
4. Roubtsov V.D. Priyom volnovix vozmuscheniy pri pomoschi uzkonapravlennix kolebaniy (Reception of wave indignations with help narrow-direction oscillations) // Radiotekhnika i elektronika, 1997, t. 42, no. 6.
5. Roubtsov V.D., Dubyanskiy S.A. Analiz xarakteristik ustroystv registratsii volnovix vozmuscheniy v srede s ispolzovaniem opticheskix, SVCh i ultrozvukovix luchey (Analysis of characteristics of register arrangements of wave indignations in environment with use of optics, microwave and ultrasonic beams) // Vestnik MGTU GA, 2014, no. 209.
6. Roubtsov V.D., Dubyanskiy S.A. Opredelenie akusto-emissionnix xarakteristik vozdushnix sudov s ispolzovaniem parametricheskix registriruyuschix ustroystv na SVCh i opticheskix luchax (Definition of acoustic-emission characteristics of aircrafts with use parametric register arrangements on microwave and optics beams) // Vestnik MGTU GA, 2014, no. 209.

Рецензенты:

Строганова Е.П., д.т.н., профессор кафедры «Метрология, стандартизация и измерения в инфокоммуникациях», ФГБОУ ВПО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва;

Козлов А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта», ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», г. Москва.

УДК 678.046/.047

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕРМОСТОЙКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛИМЕРМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

Еремеева Н.М., Чадина В.В., Свешникова Е.С., Панова Л.Г.

Энгельсский технологический институт (филиал), ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Энгельс, e-mail: natali.eremeeva90@gmail.com

Исследованы структура и свойства исходного сырья – возобновляемого вторичного целлюлозосодержащего продукта крупяного производства гречихи. Разработаны научные подходы к созданию термостойких углеродных наполнителей для полимерматричных композиционных материалов на основе пластифицированной эпоксидной смолы и возобновляемых вторичных целлюлозосодержащих продуктов крупяного производства гречихи – оболочки гречихи. Предложено сочетание методов химической и физической модификации с использованием соединений, структурирующих полимер и обеспечивающих повышение, приблизительно в 2–4 раза, выхода карбонизованных структур после термообработки с получением термостойких наполнителей для полимерматричных композитов. Установлена возможность направленного регулирования размеров пористой структуры при термообработке. Изучены скорость и механизм разложения оболочки гречихи при термоокислительной деструкции и влияние на них тетрафторбората аммония. Введение данного наполнителя в состав эпоксидной композиции способствует снижению пожарной опасности с переводом материала в класс трудносгораемых, повышает теплостойкость и сохраняет устойчивость композитов к изгибающим и ударным нагрузкам. Разработанные составы сохраняют диэлектрические свойства.

Ключевые слова: оболочка гречихи, модификация, структура, наполнители, полимерные композиты, снижение пожарной опасности, теплостойкость, диэлектрические свойства

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF CELLULOSE-CONTAINING RAW MATERIAL AT GETTING HEAT-RESISTANT FILLER FOR POLYMER COMPOSITES

Eremeeva N.M., Chadina V.V., Sveshnikova E.S., Panova L.G.

Engels Technological Institute (branch) Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Engels, e-mail: natali.eremeeva90@gmail.com

The structure and properties of raw materials – a renewable recycled cellulose-containing product buckwheat groats production were investigated. The scientific approaches to the creation of heat-resistant carbon fillers for polymer composite materials based on plasticized epoxy resin and renewable secondary products of buckwheat groats production – buckwheat shell were developed. A combination of physical and chemical methods of modification with using of compounds structuring polymer and providing the increase approximately in 2–4 times of carbonized structures yield after heat treatment to obtain a heat-resistant fillers for polymer composites was proposed. The possibility of directional control of the porous structure size during heat treatment was found. The rate and mechanism of buckwheat shell decomposition during thermo-oxidative degradation and the influence of ammonium tetrafluoroborate to them were studied. Introduction of the filler in the epoxy composition helps to reduce fire hazard with a transfer in class of nonflammable material, increases heat resistance and maintains the stability of the composites to bending and impact loads. The compositions retain dielectric properties.

Keywords: buckwheat shell, modification, structure, fillers, polymer composites, fire hazard reduction, heat resistance, dielectric properties

Разработка инновационных технологий комплексной переработки растительных и минеральных ресурсов позволяет использовать исходное сырье для создания функциональных материалов [2].

На сегодняшний день самое широкое применение в различных областях промышленности находят углеродные материалы. Для их промышленного изготовления используются различные целлюлозосодержащие растительные отходы, ископаемые угли, торф и т.д. [1, 4–5].

Применение же в качестве сырья возобновляемых отходов сельскохозяйственного

производства связано с возможностью использования местного сырья, сокращающего затраты на его доставку; низкой стоимостью и доступностью и сохранением свойств сырья при хранении; отсутствием сточных вод и затрат на их утилизацию.

После определенной технологической подготовки такие целлюлозосодержащие отходы, в том числе оболочки гречихи, могут выступать в роли наполнителей полимерных матриц при разработке полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Цель исследования: разработка научных подходов к созданию термостойких

углеродных наполнителей для полимерматричных композиционных материалов на основе пластифицированной эпоксидной смолы и возобновляемых вторичных целлюлозосодержащих продуктов крупяного производства гречихи – оболочки гречихи.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования при получении наполнителей использованы: оболочка, полученная при обмолоте гречихи (ОГ), тетрафторборат аммония (ТУ 6-09-1080-76), эпоксидная диановая смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93), трикрезилфосфат (ГОСТ 5728-76), полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-594-75).

Химический состав ОГ оценивали методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) на приборе «Nicolet 380» с приставкой «НПВО» и призмой ZnSe. Образцы готовили в виде таблеток, полученных прессованием при давлении 2 МПа из смеси, содержащей 4 мг образца и 200 мг бромистого калия, толщиной 1 мм. Исследования проводили в области длин волн 800–4000 см⁻¹.

Методом газовой хроматографии исследовали состав газов пиролиза. Сероводород и углеводороды (C₂–C₈) определялись на колонке, заполненной Рагорап Q; водород, метан, оксид углерода (II) и оксид углерода (IV) определялись на колонке, заполненной активированным углем с 25 % йода.

Гранулометрический состав ОГ оценивали методом ситового анализа.

Совмещение компонентов осуществлялось на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т.

Термостабильность образцов определяли методом термогравиметрического анализа (ТГА) на дериватографе «TGA/DSC1» фирмы Mettler Toledo. Испытания проводили в среде воздуха, навеска – 100 мг, скорость нагрева 10°C/мин, интервал нагрева 20–1000°C.

Для определения насыпной плотности образец насыпали в предварительно взвешенный цилиндр емкостью 100 см³. Насыпная плотность ($\rho_{\text{насып}}$) определялась как отношение массы свободно засыпанного наполнителя ($m_{\text{нап}}$) к объему цилиндра ($V_{\text{цил}}$).

Исследование морфологии поверхности и структуры углеродных материалов проводили с использованием метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе ТМ 1000 фирмы Hitachi.

Результаты исследования и их обсуждение

Адсорбционные свойства углеродной поверхности являются основополагающими при производстве углепластиков, когда за счет сорбционных процессов осуществляется взаимодействие углеродного наполнителя и связующего. Способность целлюлозосодержащих материалов к адсорбции различных молекул определяется их природой, размерами и формой частиц, а также морфологией поверхности. В связи с чем были определены основные свойства ОГ: частицы имеют форму лепестков со средними размерами 3–4 мм, толщиной 0,1 мм, насыпной плотностью – 125 кг/м³. Анализ структуры исходной оболочки гречихи показал, что для нее характерны преимущественно ориенти-

рованные в одном направлении фибриллы, но имеются и структурные образования, расположенные в поперечном к этим фибриллам направлении (рис. 1). В целом формируется объемная сетчатая структура. Но при этом исходная оболочка плохо измельчается, имеет низкую насыпную плотность, что не дает возможности введения ее в состав полимерной матрицы в значительных (больше 6 масс. %) количествах.



Рис. 1. ОГ исходная (увеличение 500)

С целью изменения структуры ОГ проводилась ее физическая модификация, заключающаяся в термообработке материала в муфельной печи в диапазоне температур от 200 до 700°C. Согласно данным газовой хроматографии основными продуктами термолиза ОГ являются CO, CO₂, CH₄.

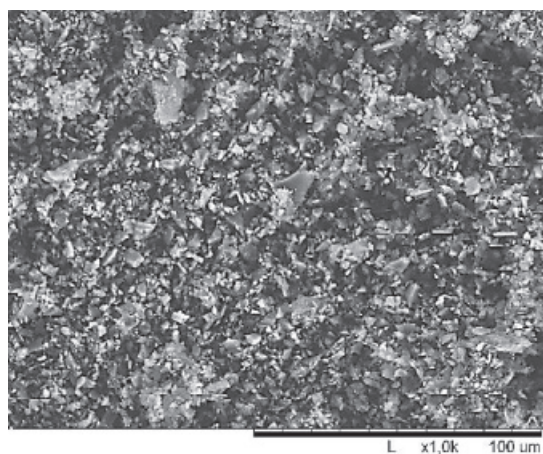
Установлено, что в процессе термообработки при температурах выше 200°C ОГ приобретает черный цвет и металлический блеск, характерный для карбонизованных структур, при этом частицы усаживаются, становятся более хрупкими, увеличивается насыпная плотность материала. Последующее измельчение термообработанного материала в планетарной мельнице при 50 об./мин в течение 150 минут способствовало уменьшению примерно в 6–8 раз геометрических размеров ОГ, что, в свою очередь, приводило к увеличению вдвое площади поверхности исследуемых образцов.

Вместе с тем термообработка способствует уменьшению выхода готового продукта, составляющему, в зависимости от температуры, от 40 до 4%, что экономически нецелесообразно. Повысить способность к карбонизации целлюлозосодержащих продуктов возможно с применением соединений, содержащих в своем составе элементы, способные их структурировать. В качестве такого соединения использовался тетрафторборат аммония (ТФБА). Перед термообработкой ОГ подвергалась

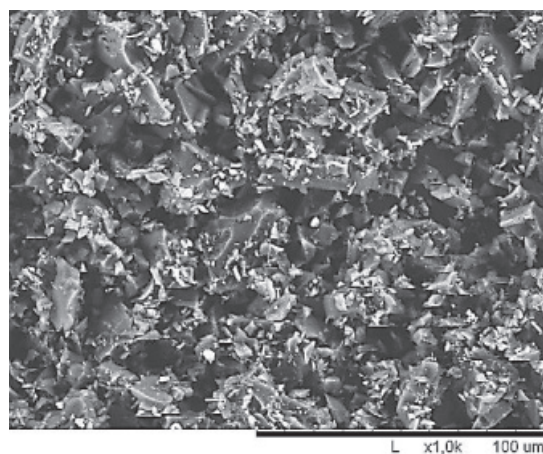
химической модификации, осуществляемой пропиткой ОГ 30%-ным водным раствором ТФБА, при модуле ванны – 2, с последующей сушкой до постоянной массы при температуре $80 \pm 5^\circ\text{C}$. Такая модификация привела к существенному увеличению (2–4 раза) выхода готового продукта после термообработки, объясняемому влиянием продуктов деструкции ТФБА на структурирование ОГ в процессе термолиза.

ОГ, термообработанная при 350°C , достаточно хорошо измельчается, полученные частицы близки по размерам и имеют низкую склонность к агломерации (рис. 2, а).

Появление экстремума при температуре 400°C на кривой зависимости влияния температуры термообработки на насыпную плотность, видимо, связано с различиями в скоростях и механизме разложения ОГ при термоокислительной деструкции. При температуре 400°C , одновременно с выделением газообразных продуктов, происходит усадка оболочки, повышается истинная плотность, что способствует увеличению насыпной плотности. Кроме того, наличие различных по размерам частиц приводит к заполнению частицами меньших размеров промежутков между более крупнодисперс-



а



б

Рис. 2. ОГ, термообработанная в течение 1 мин при температурах:
а – 350°C ; б – 400°C (увеличение 1000)

Повышение температуры термообработки до 400°C приводит к существенному изменению структуры и размеров частиц после измельчения, а также проявляется большая склонность к агломерации (рис. 2, б), увеличивается и насыпная плотность (рис. 3).

ными частицами. Термообработанные при температуре 450°C , частицы легче измельчаются, имеют меньшие размеры, результатом чего является большая склонность к агрегации и меньшая насыпная плотность (рис. 3).

Изменения в структуре после воздействия на нее повышенных температур,

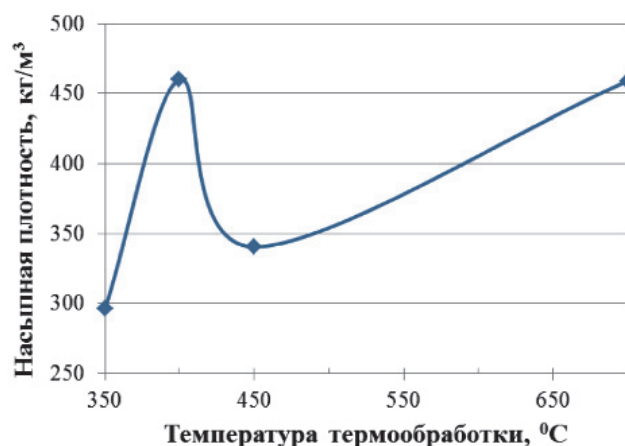


Рис. 3. Влияние измельчения на насыпную плотность материала

подтверждаются исследованием ОГ методом ТГА. Термообработанные при температуре 250°C отходы имеют параметры пиролиза, аналогичные исходным. Существенно более термостойкими является ОГ, обработанная при температуре 350°C и выше в течение 1 мин, имеющая более высокую начальную температуру разложения (400–685°C) и существенно меньшие потери массы: так, у термообработанных при температурах выше 500°C потери массы составляют от 12 до 2% в интервале температуры испытания до 1000°C.

При термообработке в материале происходит формирование пористой структуры. Отмечено увеличение размера пор в структуре ОГ с увеличением температуры термообработки до 500°C (рис. 4, а, б) и уменьшение их при дальнейшем повышении температуры.

При создании полимерных композиционных материалов (ПКМ) ОГ применялась в качестве наполнителя эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20, пластифицированной трикрезилфосфатом (ТКФ), выполняющим одновременно роль пластификатора и замедлителя горения. Степень наполнения ПКМ частицами ОГ составляла 30 масс. ч. Совмещение компонентов осуществлялось с использованием метода ультразвукового диспергирования при следующих параметрах:

22 кГц, 26 мА [3]. Применение ультразвукового воздействия приводит к изменению характеристик структуры, снижению вязкости, дегазации, приводящей к уменьшению воздушных включений, эпоксидной композиции, что в целом обеспечивает получение более монолитной структуры композита с повышенными физико-механическими свойствами (таблица).

Методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) оценено взаимодействие эпоксидного олигомера с ТКФ. В ИК спектрах составов, содержащих ТКФ, отмечено проявление при 1030 см⁻¹ пика связи Р–О–С, отсутствующего в немодифицированном эпоксидном полимере, что свидетельствует о наличии химического взаимодействия между компонентами. Также доказательством наличия химического взаимодействия служит высокая степень отверждения, составляющая для состава с ТКФ – 87%, при содержании ТКФ – 30 масс. ч., в сравнении с немодифицированными образцами 76%

У составов, отвержденных ПЭПА, при введении ТКФ возрастает устойчивость к изгибающим и ударным нагрузкам (таблица). Наличие в эпоксидном составе 30 масс. ч. повышает теплостойкость эпоксидного состава, не изменяя фактически остальных свойств композиции.

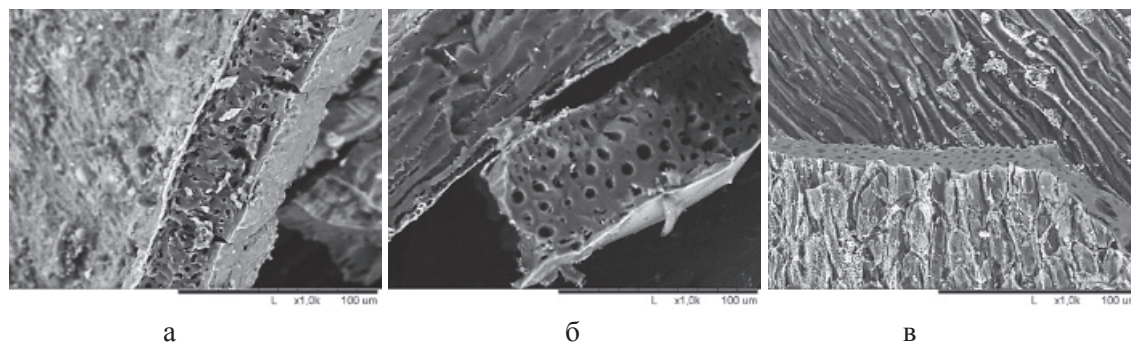


Рис. 4. СЭМ-изображение структуры ОГ, термообработанной в течение 1 мин при температурах, °С:
а – 450; б – 500; в – 700 (увеличение 1000)

Физико-механические характеристики полученных эпоксидных ПКМ

Состав, масс. ч	Ударная вязкость, кДж/м ²	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом*м	Теплостойкость по Вика, °С	КИ, % об.
70ЭД-20 + 15 ПЭПА	9	45	7·10 ¹²	86	19
70ЭД-20 + 30ТКФ + 15ПЭПА	14	98	–	124	27
70ЭД-20 + 30ТКФ + 30 ОГ(350°C) + 15ПЭПА	7	51	4,0·10 ¹⁰	181	30,5
70ЭД-20 + 30ТКФ + 30 ОГ(700°C) + 15ПЭПА	7	48	0,8·10 ⁹	184	32,5

Установлено, что использование наполнителя, термообработанного при более высоких температурах, повышает кислородный индекс (КИ) ПКМ, характеризующий горючесть материала, так как удаляется большое количество легко воспламеняемых летучих продуктов – CO, CH₄, увеличивается теплостойкость, по показателю КИ (от 27 до 32,5% об.) ПКМ относятся к классу трудносгораемых, что существенно расширяет области использования эпоксидных композитов.

В связи с тем, что при термообработке в составе ОГ увеличивается количество углерода, оценивались диэлектрические свойства ПКМ. Установлено снижение показателей диэлектрических свойств. На величину данного показателя влияет как температура термообработки, так и количество наполнителя в составе эпоксидной матрицы, но показатель удельного объемного электрического сопротивления составляет от 10⁹ до 10¹¹ Ом·м, что позволяет отнести разработанные составы к диэлектрикам.

Выводы

Доказана возможность направленно-го регулирования структуры, свойств и способности к карбонизации ОГ при комплексном применении физических и химических методов модификации, что позволяет, изменяя структуру целлюлозосодержащего материала, формировать развитую поверхность и способствует увеличению выхода основного продукта при термообработке.

Доказана возможность использования оболочки гречихи в качестве наполнителя при создании эпоксидных композитов с пониженной пожарной опасностью.

Список литературы

1. Артемьев А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтезагрязнений. Вода: химия и экология. – 2008. – № 1. – С. 19–25.

2. Онищенко Д. В., Рева В. П., Чаков В. В. Использование возобновляемого растительного сырья для формирования функциональных материалов // Экология и промышленность России. – 2013. – № 1. – С. 39–43.

3. Яковлев Е.А., Мостовой А.С., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Исследование влияния физико-химических методов модификации наполненной клеевой эпоксидной композиции // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013. – № 5 (30). – С. 149–152.

4. Dias J. M. [et al.] Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review // Journal of Environmental Management. – 2007. – № 85. – P. 833–846

5. Sreekanth M. S. [et al.] Effect of particle size and concentration of fly ash on properties of polyester thermoplastic elastomer composites // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2009. – № 3. – P. 237–248.

References

1. Artem'ev A.V., Pinkin A.V. *Voda: himiya i jekologija*, 2008, no. 1, pp. 19–25.

2. Onishhenko D.V., Reva V.P., Chakov V.V. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2013, no. 1, pp. 39–43.

3. Jakovlev E.A., Mostovoj A.S., Plakunova E.V., Panova L.G. *Dizajn. Materialy. Tehnologija – Design. Materials. Technology*, 2013, no. 5 (30), pp. 149–152.

4. Joana M. Dias, Maria C.M. Alvim-Ferraz, Manuel F. Almeida, José Rivera-Utrilla, Manuel Sánchez-Polo *Journal of Environmental Management*, 2007, no 85, pp. 833–846.

5. Sreekanth M.S., Bambole V.A., Mhaske S.T., Mahanwar P.A. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 2009, no. 3, pp. 237–248.

Рецензенты:

Федотова О.В., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой органической и биорганической химии, директор Института химии, Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов;

Яковлев А.В., д.т.н., заведующий кафедрой «Естественные и математические науки», первый заместитель директора Энгельсского технологического института (филиал), ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Энгельс.

УДК 621.865.8:658.512.011

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И МОМЕНТОВ УСТРАНЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Зубрицкас И.И.

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

В статье изложены основные принципы организации прогнозирования технического состояния автомобилей с использованием автоматизированной адаптивной системы управления техническим состоянием автомобилей. Процесс прогнозирования в автоматизированной системе представляет поэтапную процедуру обработки информации, поступающей из центра диагностики. Обработка информации ведется с целью решения двух комплексов задач: собственно, прогнозирования и статистической обработки. Индивидуальное прогнозирование периодичности технического обслуживания и технического состояния автомобилей является одним из основных резервов повышения эффективности и дальнейшего совершенствования системы управления их работоспособностью. Использованию этого резерва часто препятствует недостаточная точность существующих методов прогнозирования. Повышение точности прогнозов возможно на основе закономерностей, одновременно учитывающих индивидуальное техническое состояние агрегатов автомобиля и интенсивность его изменения от величины пробега и значений факторов условий эксплуатации, действующих на автомобиль и его агрегаты на данном пробеге.

Ключевые слова: автомобиль, техническое обслуживание, прогнозирование, управление техническим состоянием на основе диагностических данных, методы управления техническим состоянием автомобилей

THE METHOD OF FORECASTING THE FREQUENCY OF INDIVIDUAL MAINTENANCE AND TORQUES TROUBLESHOOTING CARS

Zubritskas I.I.

*Novgorod State University named after Yaroslav Mudry, Veliky Novgorod,
e-mail: Igor.Zubrickas@novsu.ru*

The article describes the basic principles of forecasting of the technical condition of vehicles using the automated adaptive control system of technical condition of cars. Individual forecasting the frequency of maintenance and technical condition of vehicles is one of the main reserves of increase of efficiency and further improve management of their health. The use of this reserve is often hampered by lack of accuracy of existing prediction methods. Improving the accuracy of predictions is possible on the basis of patterns, while taking into account the individual technical condition of the vehicle and the intensity of its changes on the magnitude of the run and the values of factors operating conditions operating the vehicle and its components at this mileage.

Keywords: car, maintenance, forecasting, management of technical condition based on the diagnostic data, methods of control of technical condition of the cars

Индивидуальное прогнозирование периодичности технического обслуживания и технического состояния автомобилей является одним из основных резервов повышения эффективности и дальнейшего совершенствования системы управления их работоспособностью. Использованию этого резерва часто препятствует недостаточная точность существующих методов прогнозирования. Повышение точности прогнозов возможно на основе закономерностей, одновременно учитывающих индивидуальное техническое состояние агрегатов автомобиля и интенсивность его изменения от величины пробега и значений факторов условий эксплуатации, действующих на автомобиль и его агрегаты на данном пробеге [1–8]. Исходной информацией об интенсивности изменения технического состояния автомобилей являются: значения параме-

тров, используемых для прогнозирования; календарные даты и значения наработок автомобиля, соответствующие зафиксированным значениям параметра, и др. информация, получаемая в центре диагностики с использованием компьютеризированных средств диагностирования. Информация передается автоматизированной адаптивной системе управления для обработки, в процессе которой формируются массивы нормативно-справочной и диагностической информации, необходимые для организации процесса прогнозирования. Для этого используются специально разработанные программные средства.

Процесс прогнозирования в автоматизированной системе представляет поэтапную процедуру обработки информации, поступающей из центра диагностики. Обработка информации ведется с целью решения двух

комплексов задач: собственно прогнозирования и статистической обработки.

Характер этих задач и условия их реализации обусловили структуру и состав обеспечения процесса прогнозирования технического состояния автомобилей в автоматизированной системе [9–10].

Техническое обеспечение системы прогнозирования (СП) составляет компьютеризированное диагностическое оборудование, используемое в центре диагностики, и вычислительные средства автоматизированной адаптивной системы управления техническим состоянием автомобилей.

Информационное обеспечение было разработано с учетом реализации функций системы ТО и ремонта автомобилей и функций СП. Входные и выходные информационные данные составляют внешнее информационное обеспечение, а организованные информационные массивы – внутреннее обеспечение.

Внешнее информационное обеспечение включает:

- информацию о техническом состоянии автомобилей и информацию, необходимую для их идентификации в системе;
- управляющую информацию для автоматизированной адаптивной системы управления техническим состоянием автомобилей и информационные массивы в памяти ЭВМ при внедрении СП;
- информацию о динамике технического состояния автомобилей;
- информацию о текущем состоянии автомобилей и результатах прогнозирования, а также служебную информацию (результаты контроля поступивших данных, аварийные сообщения и т.д.).

Внутреннее информационное обеспечение составляют:

- массивы нормативно-справочной информации, содержащие числовые нормативы, необходимые для прогнозирования, и тексты, используемые для печати выходных документов;
- массивы, содержащие информацию о текущем техническом состоянии автомобилей.

Методическое обеспечение СП содержит:

- методику оценки факторов условий эксплуатации, предназначенную для выявления совокупности значимых факторов;
- методику построения системных моделей прогнозирования технического состояния автомобилей;
- методику прогнозирования технического состояния автомобилей на основе многофакторных моделей, учитывающих индивидуальное состояние автомобиля и его изменение под воздействием факторов условий эксплуатации.

Функции системы прогнозирования обусловлены возможностями ее обеспечения и реализуются в ходе решения конкретных задач.

При решении задачи прогнозирования технического состояния автомобилей используется комплекс программ прогнозирования, которые обеспечивают:

- обработку данных очередного диагностирования, поступивших из центра технической диагностики;
- выполнение прогноза технического состояния автомобиля с учетом индивидуальных особенностей.

При этом выполняются три вида прогнозов:

- текущий прогноз, при котором вводятся данные очередного диагностирования автомобиля и выполняется прогноз для данного автомобиля на требуемую дату или пробег;
- прогноз по заказу, при котором без ввода результатов очередного диагностирования выполняется прогноз на основе данных, накопленных ранее в ЭВМ, на требуемую дату или пробег для автомобилей, указанных в заказе;
- прогноз до предельного состояния агрегатов автомобиля. Выполняется автоматически при вышеперечисленных видах прогноза.

При выполнении прогнозирования поступающие из центра технической диагностики результаты диагностирования автомобилей подвергаются следующей обработке:

- контролируются на совпадение с результатами предшествующих диагностик и на совпадение с нормативными значениями диагностических параметров. Данные, не прошедшие контроль, из дальнейшей обработки исключаются. Данные, прошедшие контроль, записываются в памяти ЭВМ на магнитных дисках;
- вычисляется прогноз по каждому из диагностических параметров конкретного автомобиля. Прогноз ведется на основе использования библиотеки многофакторных моделей прогнозирования. Основанием для выбора конкретной модели из библиотеки (выбор осуществляется ЭВМ автоматически) служат следующие признаки: марка и модель автомобиля, наименование агрегата; характеристика агрегата (новый, капитально отремонтированный); наименование прогнозируемого параметра. При прогнозе учитываются величина его пробега на интервале прогноза, индивидуальное текущее техническое состояние.

Результатами прогноза являются:

- прогнозные значения диагностических параметров на заданную дату или заданный пробег;

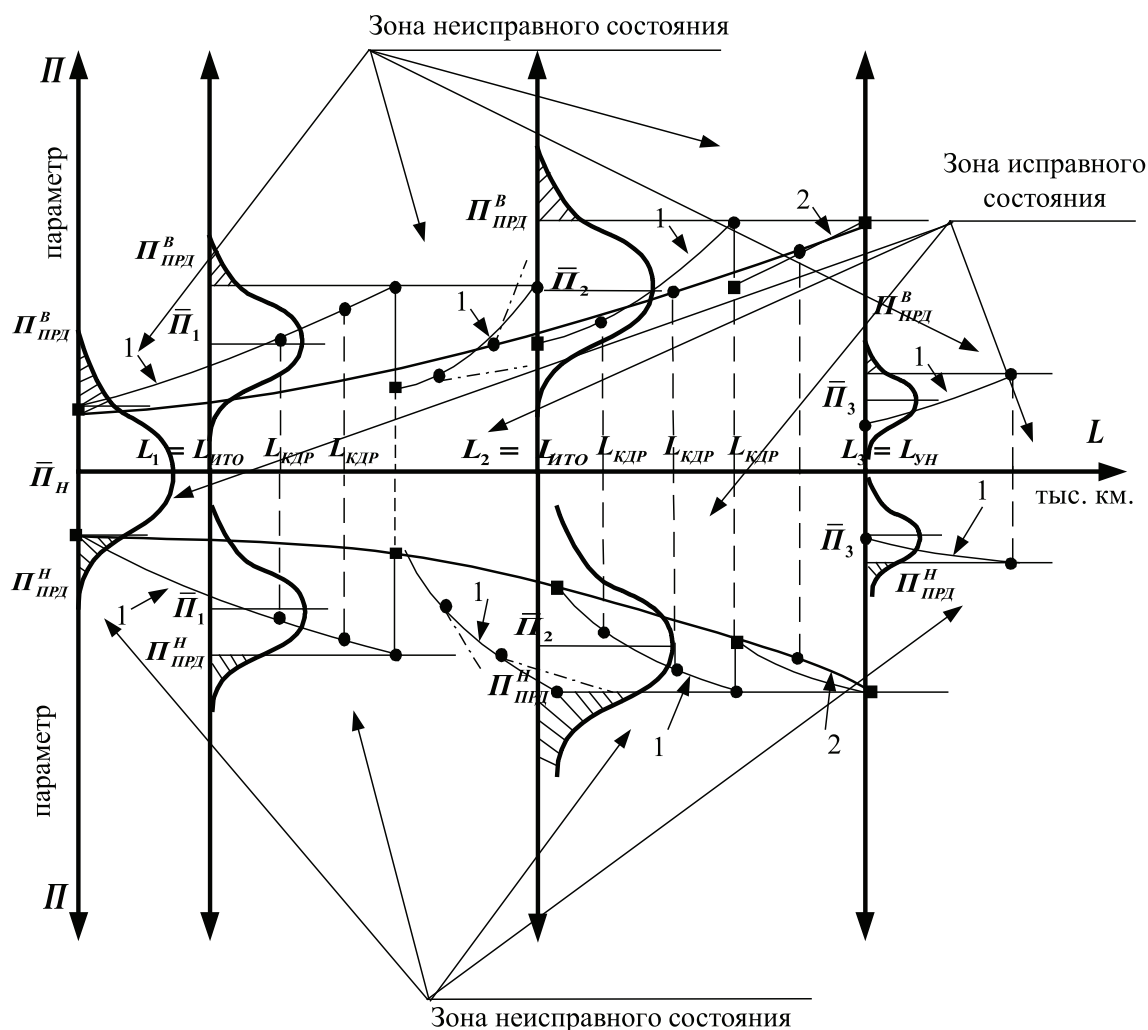


Схема прогнозирования периодичности ИТО момента необходимости проведения работ по возможному УН автомобиля, его основных агрегатов и систем:

1 – кривая прогнозирования периодичности ИТО; 2 – кривая прогнозирования момента УН

- дата и пробег автомобиля, при которых каждый из диагностических параметров достигает своего предельного значения;

- прогнозные значения периодичности индивидуального технического обслуживания автомобиля (ИТО) и прогнозные значения до момента необходимости проведения работ по возможному устранению неисправностей (УН) автомобиля, его основных агрегатов и систем. Схема прогнозирования приведена на рисунке.

Список литературы

1. Блудян Н.О. Нужна система предэксплуатационной подготовки новых автомобилей // Автомот. трансп. – М., 1989. – № 5. – С. 34–35.
2. Блудян Н.О. Перспективные принципы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава. – М., 1990. – 52 с. – (Автомот. трансп. Сер.3, Техн. эксплуатация и ремонт автомот.; Обзор, информ. / М-во автомот. трансп. РСФСР. ЦБНТИ; Вып.6).

3. Блудян Н.О. Проблемы оценки качества изготовления автомобильной техники // Стандартизация и повышение качества машиностроит. продукции для АПК: тез. докл. на Всесоюзной науч.-техн. конф. (Бердянск, сент. 1988 г.). – М., 1988. – С. 60–61.

4. Блудян Н.О. Требуется уточнения // Автомот. трансп. – М., 1988. – № 11. – с. 24–25.

5. Блудян Н.О., Лисковец А.М., Семенов А.А. Организация подготовки нового подвижного состава к эксплуатации. – М., 1988. – 52 с. – (Автомот. трансп. Сер.4, Техн. эксплуатация и ремонт автомот.; Обзор, информ. / М-во автомот. трансп. РСФСР. ЦБНТИ; Вып. 7).

6. Говорущенко Н.Я. Диагностика и прогнозирование – перспективный путь развития технической эксплуатации автомобилей. – М., 1989. – № 12. – С. 1–3.

7. Говорущенко Н.Я. Место и роль диагностики в условиях новой концепции ее развития. – М., 1991. – 52 с. – (Автомот. трансп. Сер. Техн. эксплуатация и ремонт автомот.; Обзор, информ. / Концерн «Росавтотранс». Информавтотранс; Вып. 8). – С. 2–14.

8. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1984.

9. Зубрицкас И.И. Методология совершенствования системы управления техническим состоянием автомобилей на основе информационных технологий: монография. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2011.

10. Зубрицкас И.И. Адаптивная система управления техническим состоянием автомобилей: монография. – Изд-во Lambert Academic Publishing LAP, ISBN: 978-3-8484-0288-5, 2012 г.

References

1. Bludjan N.O. Nuzhna sistema predjekspluacionnoj podgotovki novyh avtomobilej // Avtomob. transp. M., 1989. no. 5. pp. 34–35.

2. Bludjan N.O. Perspektivnye principy sovershenstvovanija sistemy tehničeskogo obslužhivanija i remonta podvizhnogo sostava. M., 1990. 52 p. (Avtomob. transp. Ser.3, Tehn. jekspluacija i remont avtomob.; Obzor, inform. / M-vo avtomob. transp. RSFSR. CBNTI; Vyp. 6).

3. Bludjan N.O. Problemy ocenki kachestva izgotovlenija avtomobil'noj tehniki // Standartizacija i povyšenie kachestva mashinostroita. produkcii dlja APK: tez. dokl. na Vsesojuznoj nauch.-tehn. konf. (Berdjansk, sent. 1988 g.). M., 1988. pp. 60–61.

4. Bludjan N.O. Trebujutsja utočnenija // Avtomob. transp. M., 1988. no. 11. pp. 24–25.

5. Bludjan N.O., Liskovec A.M., Semenov A.A. Organizacija podgotovki novogo podvizhnogo sostava k jekspluacii. M., 1988. 52 p. (Avtomob. transp. Ser.4, Tehn. jekspluacija i remont avtomob.; Obzor, inform. / M-vo avtomob. transp. RSFSR. CBNTI; Vyp. 7).

6. Govorushhenko N.Ja. Diagnostika i prognozirovanie perspektivnyj put' razvitija tehničeskoy jekspluacii avtomobilej. M., 1989. no. 12. pp. 1–3.

7. Govorushhenko N.Ja. Mesto i rol' diagnostiki v uslovijah novoj koncepcii ee razvitija. M., 1991. 52 s. (Avtomob. transp. Ser. Tehn. jekspluacija i remont avtomob.: Obzor. inform. / Koncern «Rosavtotrans». Informavtotrans; Vyp. 8). pp. 2–14.

8. Govorushhenko N.Ja. Tehničeskaja jekspluacija avtomobilej. Har'kov: Izd-vo Har'k. un-ta, 1984.

9. Zubrickas I.I. Metodologija sovershenstvovanija sistemy upravlenija tehničeskim sostojaniem avtomobilej na osnove informacionnyh tehnologij: monografija. Velikij Novgorod: NovGU im. Jaroslava Mudrogo, 2011.

10. Zubrickas I.I. Adaptivnaja sistema upravlenija tehničeskim sostojaniem avtomobilej: monografija. Izd-vo Lambert Academic Publishing LAP, ISBN: 978-3-8484-0288-5, 2012 g.

Рецензенты:

Швецов И.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой промышленной энергетики, ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород;

Майоров В.А., д.т.н., профессор кафедры промышленной энергетики, ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород.

УДК 621.929.2/.9

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИСКРЕТНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩИХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Иванец Г.Е., Сухоруков Д.В.,
Шулбаева М.Т., Сафонова Е.А.**

*ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»,
Кемерово, e-mail: office@kemtipp.ru*

Исследованы пути направленного создания режимов дозирования, при которых достигается требуемая степень сглаживания входных воздействий, обусловленная инерционными характеристиками смесителя. Для определения характера протекания процесса изменения концентрации на выходе из аппарата при разных видах входных воздействий были проведены расчеты временных характеристик. Для этого были разработаны математические модели смесительного агрегата. Установлено, что в смесительных аппаратах непрерывного действия возникают так называемые абсолютно-колебательные режимы, которые приводят к периодическому перераспределению материала по концентрации. Определены зависимости момента входа в них от частоты дозирования, что позволяет выбрать его рациональный режим и тем самым уменьшить время процесса смешивания. При непрерывно-переменной нагрузке смесителей непрерывного действия установлена возможность оптимизировать работу смесительного агрегата взаимосвязных режимов работы блока дозаторов и аппаратов путем направленного выбора частотного режима дозирования.

Ключевые слова: процесс смешивания, режим дозирования, смеситель непрерывного действия, концентрация, сглаживание флуктуаций, математическая модель

FORMATION MODE OF DISCRETE DOSING TO OPTIMIZATION OF WORK OF CONTINUOUS ACTION MIXER

**Ivanets V.N., Borodulin D.M., Ivanets G.E., Sukhorukov D.V.,
Shulbaeva M.T., Safonova E.A.**

*The Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University),
Kemerovo, e-mail: office@kemtipp.ru*

We explored ways to create directional dosing regimens in which the desired degree of smoothing input actions due to inertia characteristics of the mixer. To determine the nature of the process of change of concentration at the outlet of the device in different types of input actions we calculated temporal characteristics. To this end, we have developed a mathematical model of the mixing unit. Found that in the continuous mixing devices arise, so-called absolute-vibrational modes which cause a periodic redistribution of material concentration. We determine the dependence of the moment you enter them on the frequency of dosing, allowing you to choose his rational mode and thus reduce the mixing process. With a continuously variable load continuous mixers, the possibility to optimize the work of the mixing unit viscous modes dispenser assembly and apparatus directed by selecting the frequency of dosing regimen.

Keywords: the process of mixing, dosing regimen, continuous mixer, concentration, smoothing fluctuations, mathematical model

В настоящее время в новых и реконструируемых производствах целесообразно использовать смесители непрерывного действия (СНД), оснащенные соответствующими дозирующими устройствами в связи с постоянно возрастающими требованиями, предъявляемыми к качеству смесей, так как последнее во многом определяет физико-механические и вкусовые характеристики конечного продукта [6]. Этой проблеме не уделялось достаточного внимания, в частности не изучено влияние входных сигналов, формируемых дозаторами, и характеристик СНД на качество конечной смеси.

Цель исследования – определить характер протекания процесса изменения концентрации на выходе из аппарата при

разных видах входных воздействий. Установить режимы, которые приводят к периодическому перераспределению материала по концентрации. Выбрать рациональный режим работы аппарата.

Материалы и методы исследования

Нами исследованы возможности СНД центробежного [4], вибрационного [5] и барабанного [3] типов по сглаживанию флуктуации сложных входных воздействий, поступающих от дозаторов непрерывно-гармонического, постоянного и дискретного типов. Для определения характера протекания процесса изменения концентрации на выходе СНД при разных видах входных воздействий были проведены расчеты временных характеристик. Для этого были разработаны математические модели смесительного агрегата (СА) [1, 2]. При реализации переходных процессов,

протекающих в СНД с разными инерционными свойствами, было выявлено, что в случае непрерывно-переменного дозирования происходит наложение «фона», определяемого уровнем сигналов загрузки и переменной составляющей при частоте дозирования $\omega = 0,1 \text{ с}^{-1}$; $\omega = 0,5 \text{ с}^{-1}$ и $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим процессы смесеприготовления при непрерывно-переменной загрузке смесителей. Для надежного определения зависимостей начала входа СНД в абсолютно-колебательный режим от периода переменной составляющей дозирования следует брать моменты времени t_k , принимаемые в качестве искомой величины $t_{\text{кол}}$, удовлетворяющей условию

$$(2...3)T \leq t_{\text{пп}} \leq t_k \quad \text{или} \quad \frac{6\pi}{\omega} \leq t_{\text{пп}} \leq t_k, \quad (1)$$

где t_k – текущие моменты времени на временной характеристике СНД; $t_{\text{пп}}$ – время переходного процесса.

Если период T переменной составляющей слишком велик и не удовлетворяет условию (1), то момент $t_{\text{кол}}$ полностью определяется временем достижения максимальной концентрации с учетом чистого запаздывания СНД. Параметры T_1 и T_2 в этом случае не имеют решающего значения, так как входные флуктуации на такой малой частоте дозирования сглаживаются слабо, что и порождает моменты $t_{\text{кол}}$ относительно большие, чем можно было бы ожидать при выполнении условия (1). Если $(2...3)T > t_{\text{пп}}$, то это значит, что инерционность смесителя соизмерима с инерцией фронтов в переменной составляющей и кривая $x_{\text{вых}}(t)$ полностью определяется формой последней. Графики $t_{\text{кол}} = f_1(\omega)$ и $f_{\text{кол}} = f_2(\omega)$ позволяют выявить зависимость момента «входа» СНД в абсолютно-колебательный режим при изменении частоты непрерывно-гармонического дозирования.

Область абсолютно-колебательного режима по своим параметрам удовлетворяет частоте дозирования $\omega = 2\pi/T$ и определяется зависимостью (1). Те части графиков, которые располагаются в этой области, полностью согласуются с положениями, касающимися низкочастотной фильтрации и сглаживания входных флуктуаций, наложенных на постоянный «фон». В противоположной зоне СНД работает как повторитель переменной составляющей входной концентрации, в связи с тем, что его инерционные параметры (T_1 в особенности, а также T_2 и τ) соизмеримы с периодом переменной составляющей дозирующего воздействия. Этот режим является нецелесообразным

по причине слабой сглаживаемости входных флуктуаций и весьма значительному перераспределению концентрации в СНД при работе даже в стационарном режиме, т.е. при $t \geq t_{\text{пп}}$, что ведет к возникновению неопределенности при определении момента окончания процесса смесеприготовления. Приведенные соображения, относящиеся к непрерывно-гармоническим режимам, справедливы и для порционного дозирования.

Зона повторения (П) определяется эмпирическим выражением:

$$T_{\omega_{\text{Ду}}} \leq T_1 + T_2 + \tau, \quad (2)$$

где $T_{\omega_{\text{Ду}}}$ – период наиболее высокочастотной составляющей входной концентрации из совокупности переменных составляющих дозирующих устройств, не меньшей суммарного значения инерционных параметров СНД.

Условие (2) задает локализации точек моментов времени $t_{\text{кол}}(\omega)$ в областях «П» и «Ф». Таким образом появляется возможность оптимизировать работу СА, скоординировав взаимодействие блока дозаторов с СНД. Для этого необходимо подбирать к существующему СНД такие типы дозирующих устройств, которые могут обеспечить требуемые частотные режимы загрузки.

Рассмотрены переходные процессы в виде функций отклика СНД на дискретный входной сигнал. Анализ временной характеристики показывает, что значения концентрации, систематически нарастая, приближаются к уровню, равному постоянной составляющей $a_c/2$ входного сигнала для величин скорости ввода материала. При этом можно выявить наличие специфического колебательного режима, который обусловлен возникновением знакопеременной скорости изменения выходной концентрации, начиная с определенного момента $t_{\text{кол}}$, характеризующего начало участка переменного-колебательного режима в смесителе (в отличие от постоянно-колебательного режима, когда производная не меняет знака, но может колебаться с частотой дозирования). Вышеописанная картина показана на рис. 1. Возможность возникновения переменного-колебательного режима в вибрационном СНД можно пояснить с помощью рис. 2. Здесь площадь, находящаяся под кривой, условно разделена на три области.

Анализ опытных данных показывает, что на больших значениях $\omega = 3,14...1,57 \text{ с}^{-1}$ сглаживающая способность СНД весьма высока и поэтому в пределах заданной точности расчетов пульсации, малозаметны. При этом на форму выходной концентрации влияет главным образом реакция смесителя на постоянную составляющую дозирования $a_c/2$. Поэтому для получения

максимального сглаживания пульсаций от дозирующего устройства нужно вводить материал короткими импульсами ($\tau_{\text{вк}} \leq 10 \dots 20$ с), так как на больших частотах следования сглаживание лучше.

I. Область, где хорошо выражен колебательный процесс (зона наличия $t_{\text{кол}}$).

II. Область, где колебательный процесс слабо выражен вследствие повышенной частоты дозирования.

III. Область, в которой моменты возникновения переменного-колебательного режима практически инвариантны относительно загрузки; Δ_M – диапазон ошибки моделирования.

воздействия). В физико-механическом смысле рост выходной концентрации, представляющий собой процесс перераспределения материала в смеси с течением времени, до величины постоянной составляющей определяется динамикой поступления материала в смеситель. При очень малых периодах ввода значения $\tau_{\text{вк}}$ и l практически не влияют на сглаживание. С понижением величины периода T следования порций (т.е. с повышением частоты дозирования) модуль частотной ПФ уменьшается, что соответствует возрастанию степени сглаживания. Последнее

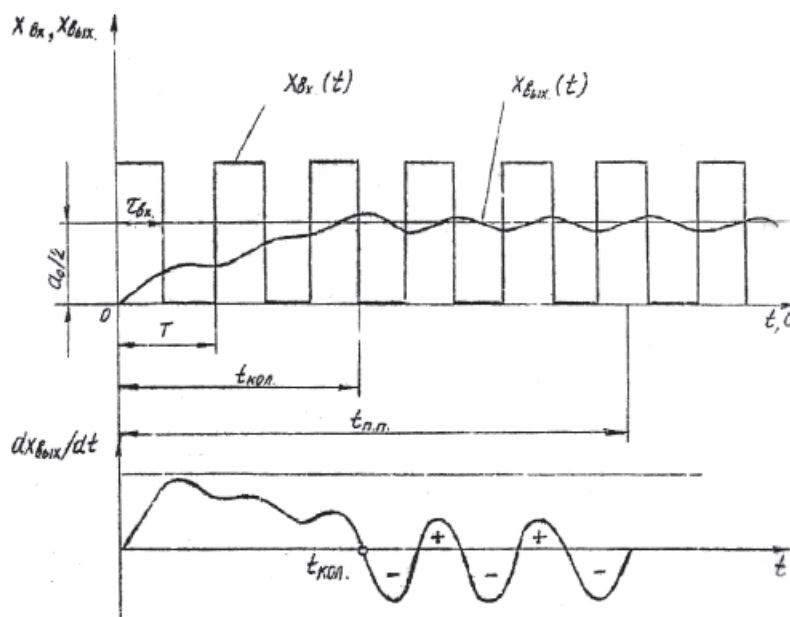


Рис. 1. Возникновение переменного-колебательного режима при дискретном дозировании

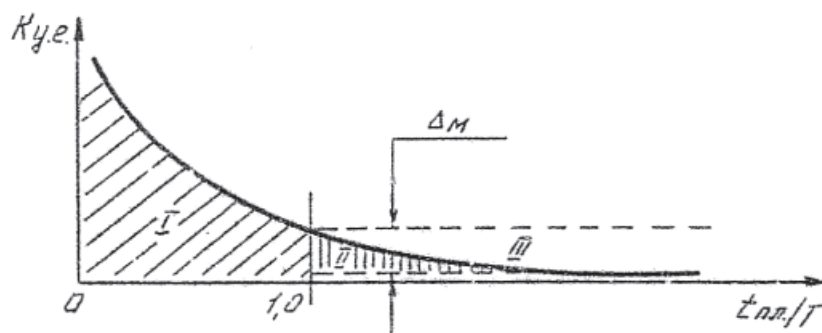


Рис. 2. Зависимость величины степени колебательности $K_{y.e.}$ от соотношения $t_{п.п.}/T$

При этом концентрация на выходе смесителя будет определяться только половинным значением амплитуды импульса ввода (постоянным членом Фурье-разложения входного дозирующего

обстоятельство приводит возникновение переменного-колебательного режима при дискретном дозировании к тому, что значение нижней границы зоны колебательности сдвигается в область больших

величин, приближающихся в $t_{\text{пп}}$. В связи с этим, флуктуации, порождаемые релаксационным сигналом дозирования, содержащим основную гармонику большей частоты, проявляются только на более пологом участке насыщения. И наоборот, флуктуации концентрации, вызванные сигналом дозирования с основной гармоникой Фурье-разложения меньшей частоты, проявляется уже на начальном участке переходного процесса. Отсюда можно сделать вывод, что смеситель выступает при дискретном дозировании в роли квазигармонизатора выходных флуктуации концентрации. Он создает эффект гармонизации выходной концентрации смеси за счет низкочастотной фильтрации.

С некоторого момента, соответствующего началу возникновения квазигармо-

Выводы

1. Исследована сглаживающая способность СНД путем направленного варьирования постоянных времени ПФ смесителей, определяющих их инерционные свойства, и, как следствие, характер протекания процесса смешивания. На основании рассчитанных частотных зависимостей прослежено изменение степени сглаживания на разных частотах и определены значения периодичности работы дозаторов для обеспечения требуемых величин сглаживания.

2. При непрерывно-переменной загрузке СНД установлена возможность оптимизировать работу смесительного агрегата взаимовязких режимов работы блока дозаторов и СНД путем направленного выбора частотного режима дозирования.

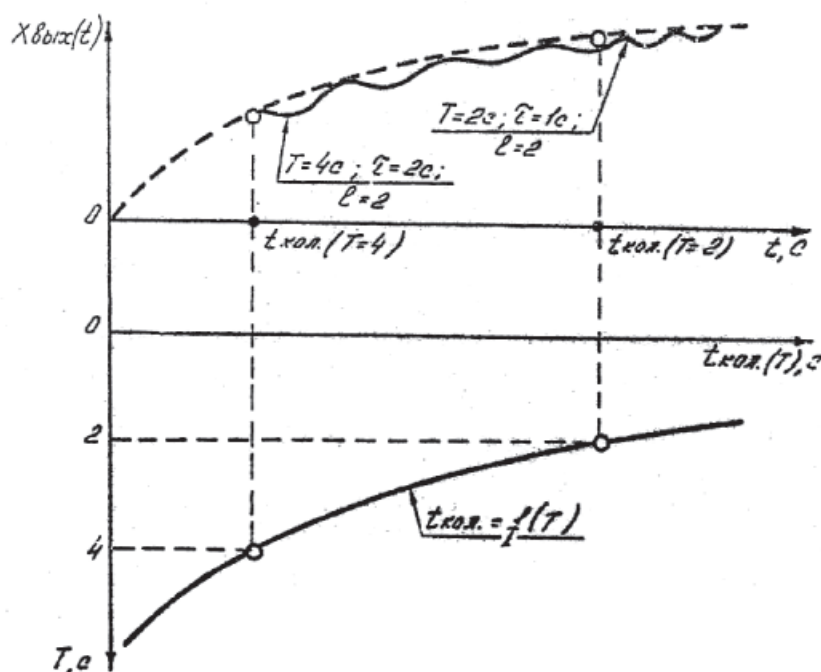


Рис. 3. Механизм возникновения эффекта гармонизации

нического режима $t_{\text{кол}}$, начинается процесс установившихся колебаний с наложенной квазигармонической составляющей, равной частоте импульсов дозирования (особенно при $l = 2$) и существенно отличающихся от входных релаксационных флуктуаций (рис. 3).

В этом проявляются, с одной стороны, свойства смесителя как аппарата низкочастотной фильтрации, а с другой – как устройства, гармонизирующего выходную концентрацию, т.е. снижающего дискретизирующий эффект дозирующего воздействия.

Список литературы

1. Бородулин Д.М. Разработка и математическое моделирование непрерывнодействующих смесительных агрегатов центробежного типа для переработки сыпучих материалов. Обобщенная теория и анализ (кибернетический подход) // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2013. – 207 с.
2. Иванец В.Н. Анализ частотно-временных характеристик смесителя непрерывного действия центробежного типа / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Жуков А.Н. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 2. – С. 52–54.
3. Пат. 2508937 РФ, Барабанный смеситель / Бородулин Д.М. Иванец В.Н.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

сти. – № 2012120803/05; заявл. 03.07.12; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 7.

4. Пат. 2455058 РФ, Центробежный смеситель / Бородулин Д.М. Иванец В.Н., Андрюшков А.А. заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2010150753/05; заявл. 10.12.10; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

5. Пат. 2488435 РФ, Вибрационный смеситель / Шущанников А.Б., Потапов А.Н., Злобин С.В., Рынза О.П. заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2012105486/05; заявл. 16.02.12; опубл. 27.07.2013, Бюл. № 16.

6. Харитонов В.Д. Моделирование смесительного агрегата центробежного типа на основе кибернетического подхода / Харитонов В.Д., Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Комаров С.С. // Молочная промышленность. – 2013. – № 7. – С. 77–79.

icheskiy institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2012120803/05; заявл. 03.07.12; opubl. 10.03.2014, Bjul. no. 7.

4. Pat. 2455058 RF, Centrobezhnyj smesitel / Borodulin D.M. Ivanec V.N., Andryushkov A.A. заявитель i patentoobladatel Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2010150753/05; заявл. 10.12.10; opubl. 10.07.2012, Bjul. no. 19.

5. Pat. 2488435 RF, Vibracionnyj smesitel / Shushpannikov A.B., Potapov A.N., Zlobin S.V., Rynza O.P. заявитель i patentoobladatel Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2012105486/05; заявл. 16.02.12; opubl. 27.07.2013, Bjul. no. 16.

6. Haritonov V.D. Modelirovanie smesitelnogo agregata centrobezhnogo tipa na osnove kiberneticheskogo podhoda / Haritonov V.D., Borodulin D.M., Suhorukov D.V., Komarov S.S. // Molochnaja promyshlennost. 2013. no. 7. pp. 77–79.

References

1. Borodulin D.M. Razrabotka i matematicheskoe modelirovanie nepreryvnodejstvujushhih smesitelnyh agregatov centrobezhnogo tipa dlja pererabotki sypuchih materialov. Obobshhennaja teorija i analiz (kiberneticheskij podhod) // Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. Kemerovo, 2013. 207 p.

2. Ivanec V.N. Analiz chastotno-vremennyh harakteristik smesitelja nepreryvnogo dejstviya centrobezhnogo tipa / Ivanec V.N., Borodulin D.M., Zhukov A.N. // Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya. 2004. no. 2. pp. 52–54.

3. Pat. 2508937 RF, Barabannyj smesitel / Borodulin D.M. Ivanec V. N.; заявитель i patentoobladatel Kemerovskij tehnolog-

Рецензенты:

Попов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово;

Петрик П.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЭПХиНТ, Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово.

УДК 666.762.52+5.39.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ ПРИ ВВЕДЕНИИ ИМПРЕГНИРОВАННОГО ОКСИДНЫМ НАНОПОРОШКОМ НИТЕВИДНОГО ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ

¹Камышная К.С., ²Промыхов В.В., ¹Вакалова Т.А., ¹Хабас Т.А.¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: habas@yandex.ru, ksene4ka.01@mail.ru;²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, e-mail: vvpromakhov@mail.ru

В работе рассмотрен вопрос о спекании оксидных порошковых композиций при формировании тонкопористого керамического материала. Исходная смесь состояла из порошков оксида алюминия и частично стабилизированного диоксида циркония микронных размеров. Канальная пористость создавалась введением выгорающих текстильных волокон, импрегнированных суспензией нанопорошков одноименных оксидов. Методом электронной микроскопии изучена морфология нанопорошков и спеченных образцов керамики, дифференциальным термическим анализом проанализировано поведение порообразователя при нагревании. При проведении исследований обнаружено влияние вида порообразующей добавки на прочность и пористость спеченной керамики. Полученные результаты свидетельствуют о том, что операция предварительного импрегнирования волокна позволяет повысить прочность пористого керамического материала. Спеченная алюмоциркониевая керамика представляет собой пористый упрочненный материал с ячеистой плотно спеченной структурой.

Ключевые слова: керамика, порообразующие добавки, наноразмерные добавки, структура спеченной керамики

INVESTIGATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ALUMINA-ZIRCONIA CERAMICS WITH THE INTRODUCTION OF THE IMPREGNATED OXIDE NANOPOWDER FILAMENTOUS PORE-FORMING ADDITIVE

¹Kamysnaya K.S., ²Promakhov V.V., ¹Vakalova T.V., ¹Khabas T.A.¹National Research Tomsk polytechnic university, Tomsk,
e-mail: habas@yandex.ru, ksene4ka.01@mail.ru;²National Research Tomsk state university, Tomsk, e-mail: vvpromakhov@mail.ru

The issue of oxide powdery compositions sintering at formation of fine pored ceramic material has been discussed in the article. The initial mixture consisted of alumina and partially stabilized zirconia powders of micron size. Channel porosity has been produced introduction of burning impregnated of nanopowders of similar oxides suspension textile fiber. Morphology of nanopowders and ceramics sintered samples has been studied by scan electron microscopy. The pore forming behavior at heating has been analyzed by differential thermal analysis. The research showed influence of pore forming additive type on strength and porosity of sintered ceramics. Findings testifies that operation of preliminary impregnation of fibers allows advancing of porous ceramic material strength. Sintered alumina-zirconia ceramics represents porous strengthened material with celled compact sintered structure.

Keywords: ceramics, pore-forming additives, nanoscale additives, structure of sintered ceramics

Проблема потери трудоспособности населения из-за причин, связанных с заболеванием опорно-двигательного аппарата, очень актуальна [11]. Для решения данной проблемы разрабатывается огромное количество материалов. С точки зрения биосовместимости и прочности наиболее перспективны и востребованы для использования в качестве имплантатов керамические материалы.

Разработки керамики для медицины на основе композитного материала системы $Al_2O_3-ZrO_2$ ведутся очень активно [1, 10]. Такая керамика является перспективным материалом, так как наряду с биоинертностью обладает хорошим комплексом физических и химических свойств. Особое

внимание при разработке материалов для медицинского применения уделяется получению материалов различной пористости [8, 9]. До сих пор ученые не пришли к консенсусу относительно наилучшего размера пор имплантата, необходимого для врастания ткани. Но установлено, что размер пор варьируется от 5 до 500 мкм [3, 7]. Вводя в данную керамическую массу различные добавки, можно регулировать температуру спекания, пористость и прочность получаемой керамики.

Целью проводимого исследования было изучение комплексного воздействия добавок в виде нанодисперсного оксида и волокнистых порообразующих добавок

на свойства алюмоциркониевой оксидной керамики.

Материалы и методы эксперимента

В качестве исходных материалов для исследования использовались микронные порошки оксида алюминия (производство фирмы Nabalox, Германия, средний размер частиц 1,2 мкм, удельная поверхность 0,843 м²/г) и оксида циркония (производство Чепецкого механического завода, Россия, средний размер частиц 0,23 мкм, удельная поверхность 4,348 м²/г). Удельная поверхность порошков определялась на анализаторе удельной площади поверхности и размеров пор Quantachrome Nova-2200-е. Микронные порошки смешивались в массовом соотношении 70:30 (оксид алюминия и циркония соответственно) [2] в шаровой мельнице с циркониевым барабаном и такими же шарами.

Для повышения прочности образцов в полученную шихту добавлялись нанопорошки оксида алюминия (производство фирмы Stanford, США, средний размер частиц 70 нм, удельная поверхность 21,54 м²/г) и оксида циркония (производство Северского химического комбината, Россия, средний размер частиц 80 нм, удельная поверхность 11,980 м²/г). Выбор нанопорошков одноименных оксидов обеспечивал отсутствие в спеченном материале примесей. Морфология и состав нанопорошков исследовались при помощи растрового электронного микроскопа JEOLJSM-7500FA. Для равномерного распределения оксидов и наноразмерных добавок смесь гомогенизировалась в мини-мельнице (Pulverisette 23). Для оценки равномерности распределения применялся метод компьютерной обработки сканированного изображения прессовок шихты [4], при этом добавка или компонент, вводимый в меньшем количестве, окрашивались в цвет, отличный от цвета микронного порошка органическими выгорающими красителями. Количество введенного нанопорошка в смесь состава 70/30 варьировалось от 0 до 1,5 масс. % с шагом 0,25 масс. %.

Для получения пористых образцов использовались натуральные волокна (хлопок, шерсть). Перспективность использования текстильных волокон показана в [5]. Поведение волокон при нагревании изучалось методом синхронного термического анализа на приборе STA 449 F3 Jupiter фирмы NETZSCH. Толщина шерстяной нити составляла 1,8 мм, толщина хлопковой нити 0,8 мм. Так как толщина хлопко-

вой нити меньше, то использовалась нить, сложенная вдвое. Предварительно нити нарезались на короткие волокна. Длина отдельного волокна шерстяной нити составляла около 5 мм, хлопковой – 15 мм. Для создания пористой структуры керамики применялись текстильные волокна в исходном состоянии и пропитанные суспензией нанопорошка оксида. При определении впитывающей способности нитей, выявлено, что 1 г шерстяной нити впитывает 1,029 г нанопорошка, а 1 г хлопковой нити впитывает 0,779 г нанопорошка. Наличие окраски нити позволило определить равномерность распределения нанопорошка на поверхности и в объеме нити.

В ходе исследования выяснено, что суспензия нанопорошка устойчиво поглощается объемом нити.

Из приготовленной шихты формовались образцы в виде цилиндров методом одноосного прессования при удельном давлении 600 МПа для определения кажущейся плотности, пористости и водопоглощения методом гидростатического взвешивания с вакуумированием. Для определения предела прочности при трехточечном изгибе были приготовлены образцы в форме брусков, размером 50×5×5 методом одноосного двухступенчатого прессования при удельном давлении 90 МПа. При определении предела прочности при сжатии образцы обрезались до размеров куба 5×5×5 мм. Для формования образцов с использованием в качестве порообразователя натуральных волокон (хлопок, шерсть) использовался метод импрегнирования. Для проведения процесса импрегнирования нанопорошок смешивался с водой. Нити помещались в суспензию, и контейнер вакуумировался. Полученные образцы обжигались при температуре 1550 и 1580 °С в среде воздуха со скоростью подъема температуры ~2 °С в минуту с выдержкой при конечной температуре в течение 2 часов.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние содержания добавок нанопорошка оксида алюминия и диоксида циркония на свойства алюмооксидной керамики

На рис. 1 представлены графики зависимости линейной усадки и общей пористости от количества и вида добавки, а также от температуры спекания.

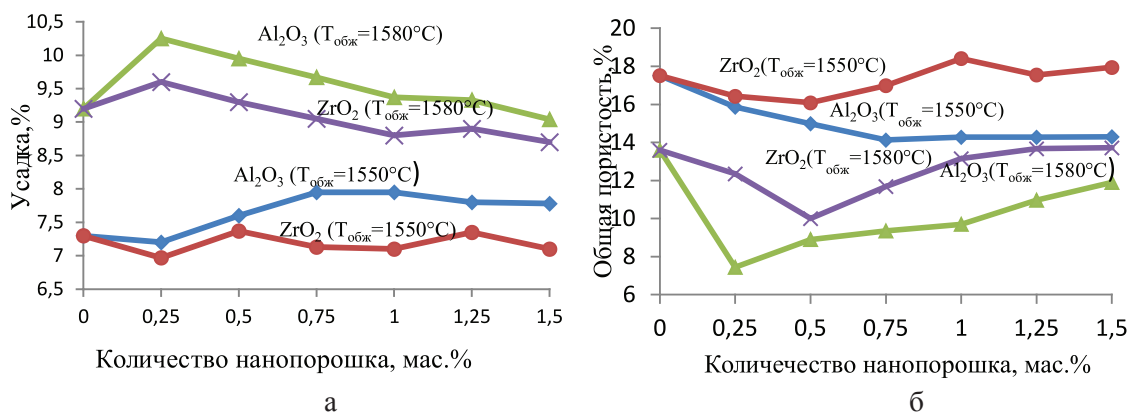
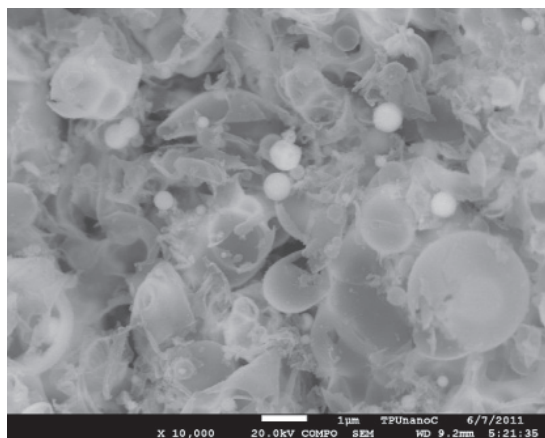


Рис. 1. Зависимость усадки (а) и общей пористости (б) от количества нанопорошка Al_2O_3 или ZrO_2 при температуре обжига 1550 и 1580 °С

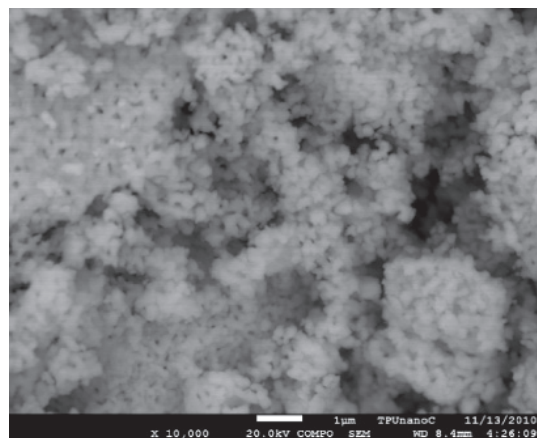
В диапазоне содержаний добавок нано- Al_2O_3 до 1 масс. % и нано- ZrO_2 до 0,5 масс. % при температуре обжига 1550°C нанопорошки выполняют функцию спекающей добавки при введении, это сопровождается увеличением усадки образцов и соответственно уменьшением общей пористости (рис. 1). При температуре 1580°C спекающее действие ограничивается содержанием нанопорошков не более 0,25 масс. % Al_2O_3 и 0,5 масс. % ZrO_2 . С увеличением за пределы данных содержаний добавок наблюдается тенденция к увеличению пористости и снижению усадки. Необходимо отметить, что усадка образцов с добавкой нанопорошка оксида циркония ниже, чем с добавкой оксида алюминия, данный факт объясняется разницей в плотности порошков: при равном массовом количестве нанопорошка оксида циркония значительно меньше по объему, чем оксида алюминия. Кроме того,

влияет исходное состояние порошков, что подтверждается снимками исходных нанопорошков оксида алюминия и оксида циркония (рис. 2).

Порошок оксида циркония (рис. 2, а) представляет собой сферические полые частицы, что способствует увеличению микропористости образцов. Порошок оксида алюминия (рис. 2, б) представляет собой сферические частицы и имеет «рыхлую» структуру, что, с одной стороны, усложняет прессование, а с другой – обеспечивает более плотную упаковку частиц в сырце (плотность прессовки увеличивается на 10 % по сравнению с образцом, содержащим в качестве добавки нанопорошок оксида циркония). В целом при повышении температуры обжига на 30 градусов наблюдается увеличение линейной усадки на 2,0–2,5 %, общей пористости – на 4,0 %.



а



б

Рис. 2. Микрофотография наноразмерного ZrO_2 (а) и наноразмерного Al_2O_3 (б)

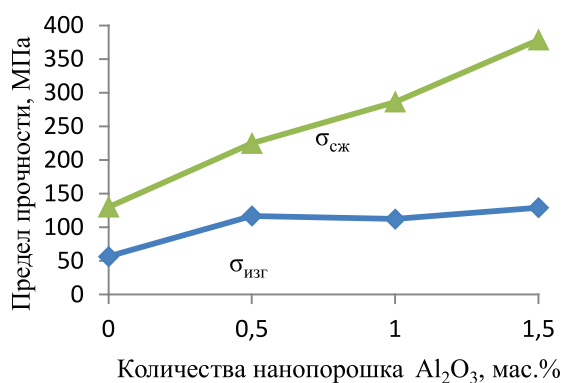


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии и изгибе керамики состава 70% – Al_2O_3 и 30% – ZrO_2 от количества нанопорошка Al_2O_3 , $T_{обж} = 1580^\circ\text{C}$

Сравнение микроснимков (SEM) показывает, что в образцах, не содержащих добавок, видны отдельные агломераты зерен и поры между зернами. Добавка нанопорошка активизирует спекание и уменьшает пористость материала, что подтверждается также данными определения механической прочности (рис. 3).

Как видно, введение добавки нанопорошка оксида алюминия в количестве 1,5 масс. % способствует увеличению прочности алюмоциркониевой керамики: ($\sigma_{сж}$) практически в 3 раза, а при испытании на изгиб ($\sigma_{изг}$) – в 2,3 раза.

Упрочнение керамики с помощью импрегнированных текстильных волокон

На основании ранее проведенных исследований [7] выявлено, что добавка

порообразующего агента в виде волокна выполняет функцию не только порообразователя, но также в сочетании с нанопорошком в определенных количествах может несколько упрочнить керамический образец. В данной работе для придания прочности керамике волокна импрегнировались нанопорошком оксида алюминия. Количество нанопорошка, вносимого путем им-

прегнирования шерстяной нити, составило 13 масс.%, а хлопковой нити – 8%. Такие образцы показали более высокие значения прочности, как на сжатие, так и на изгиб (таблица).

Для исследования поведения текстильного волокна при нагревании был проведен дифференциально-термический анализ в воздушной среде.

Зависимость изменения прочности керамики от вида порообразователя

Образец	70/30 без добавок	70/30 + хлопковая нить	70/30 + шерстяная нить
Предел прочности, МПа			
При сжатии	130,1	264,7	305,0
При изгибе	56,5	88,1	136,2

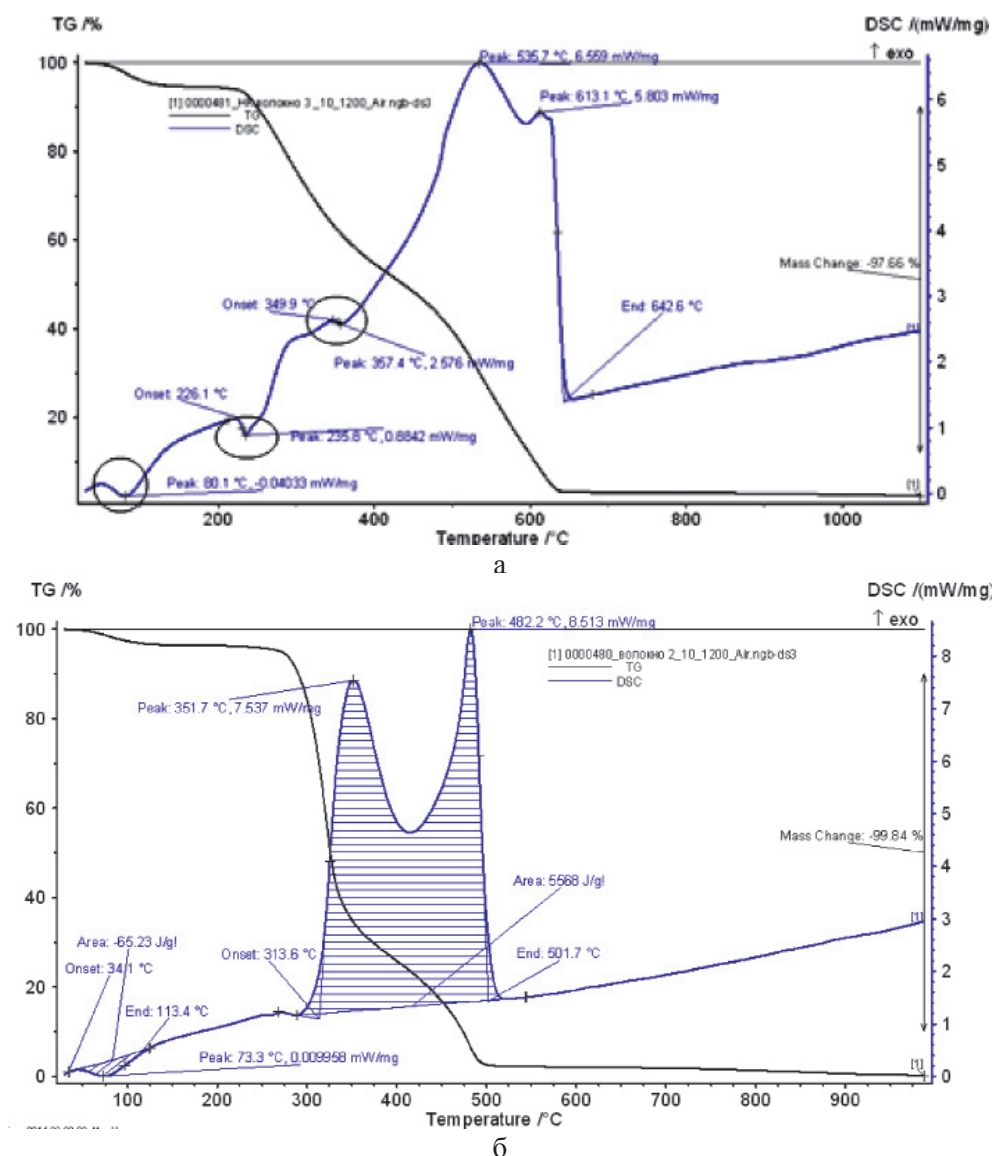


Рис. 4. Дифференциально-сканирующая калориметрия и термогравиметрия: а – шерстяной нити; б – хлопковой нити

При температурном воздействии на термограмме шерстяной нити (рис. 4, а) наблюдаются 3 небольших эндозффекта при температуре 80,1; 235 и 350°C с небольшим изменением массы связанные с удалением влаги и термической деструкцией. Горение сопровождается появлением на термограмме пиков при 535,7 и 613,1°C, при этом второй пик не так явно выражен, как при горении хлопкового волокна (рис. 4, б). Полностью процесс разложения и окисления завершается при температуре 642,6°C. Последний процесс является экзотермическим и основан на окислении основного составляющего вещества данного волокна – кератина [5]. Кератин – белковая молекула, вследствие чего появление второго экзотермического пика также связано со сложным и ступенчатым окислением органического вещества.

На термограмме хлопковой нити (рис. 4, б) наблюдается небольшой эндозффект в интервале 34–113°C, связанный с испарением влаги из нити, при этом происходит незначительное изменение массы нити, регистрируемое на кривой ТГ. Гореть данная нить начинает при температуре 313,6°C и при 501,7°C сгорает на 100% (экзотермические эфффекты). Образование двух пиков (с максимальными температурами 352 и 482°C) связано с протеканием реакции окисления органических веществ, в данном случае окисляется природный полимер – целлюлоза, а также различные сопутствующие вещества (краситель). Это исследование показывает, что к температуре 600°C деструкция и окисление волокна того и другого вида заканчивается, и в порах-каналах по форме нити должен формироваться спёк адсорбированного ею нанопорошка.

При хрупком изломе обожженных образцов, полученных спеканием керамики с импрегнированными шерстяными волокнами (1600°C), выявлено, что нанопорошок располагается по направлению прохождения нити. Разрез образца неровный, повторяет профиль выгорающей нити. Порошок пропитывает нить строго по ее плетению, при этом ячеистая структура порового канала создается за счет оседания нанопорошка на тонких волокнах и их переплетениях (рис. 5).

Микрофотография (рис. 6) этого разреза с большим увеличением показывает, что нанопорошок, пропитавший собой нить, после выгорания шерстяного волокна во время обжига образовал ячеисто-пористую структуру, состоящую из открытых пор размером от 10 до 50 мкм. Основной состав вокруг пропитанной нити (спек микронного порошка) имеет изолированные поры размером не более 3 мкм и представляет собой плотно спеченный каркас.

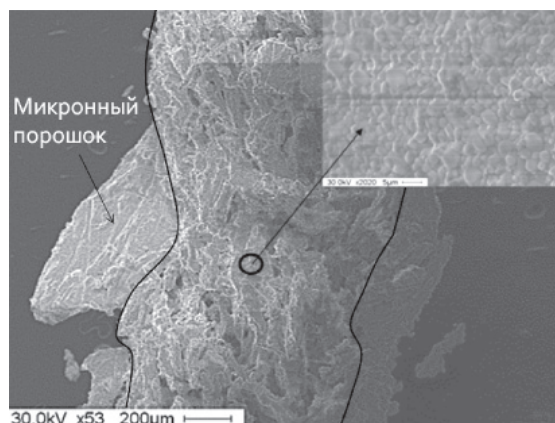


Рис. 5. Микрофотография осколка нанопорошка Al_2O_3 после выгорания шерстяной нити, $T_{обж} = 1580^\circ C$, вверху – увеличенный фрагмент нанопорошка

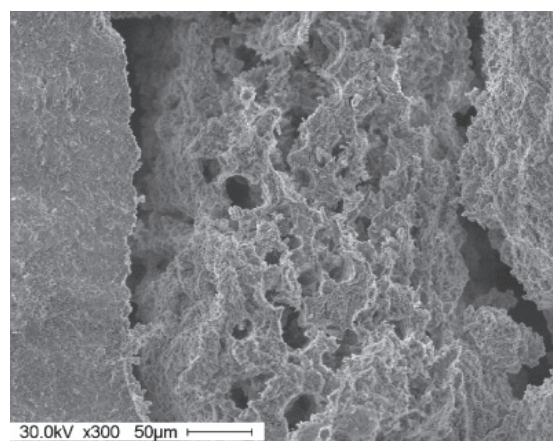


Рис. 6. Микрофотография образца состава 70% – Al_2O_3 и 30% – ZrO_2 после выгорания импрегнированной шерстяной нити (разрез выполнен вдоль расположения нити, $T_{обж} = 1580^\circ C$)

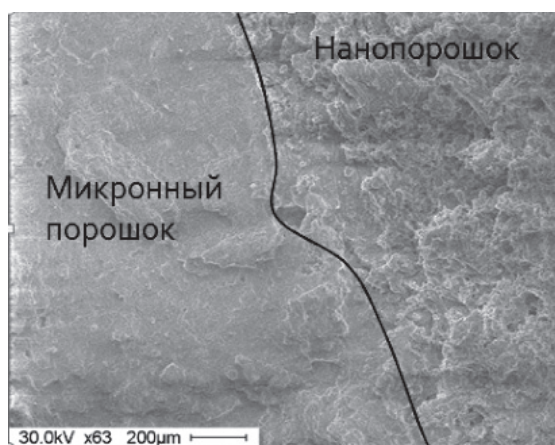


Рис. 7. Микрофотография образца вдоль расположения сгоревшей импрегнированной хлопковой нити ($T_{обж} = 1580^\circ C$)

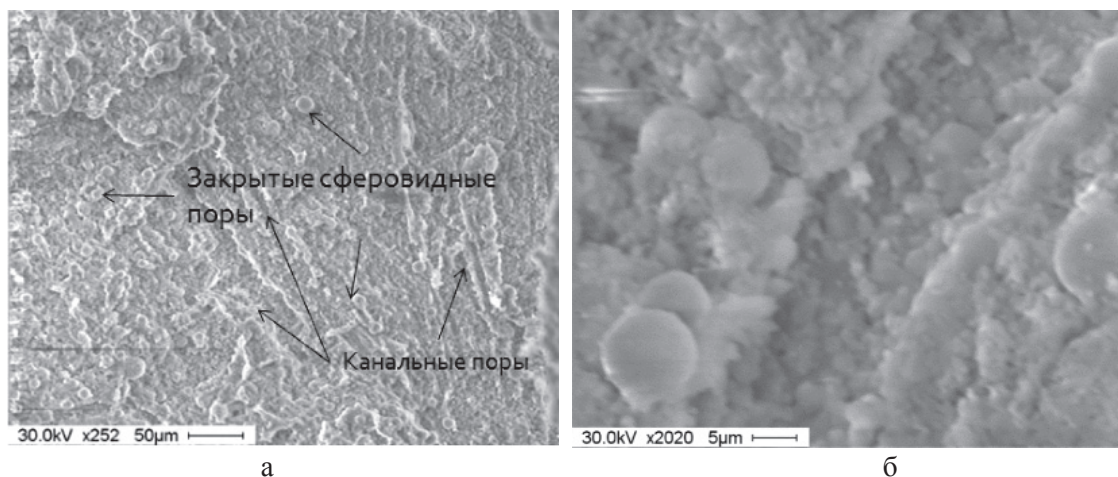


Рис. 8. Микрофотография спеченного фрагмента нанопорошка Al_2O_3 после выгорания хлопковой нити: а – общий вид; б – увеличенное изображение канальной поры

Разрез образцов с импрегнированной хлопковой нитью (рис. 7–8, а) показывает, что в образце имеются длинные полые каналы, полученные после выгорания пучка нитей. Спеченный нанопорошок пропитывает нить и так же повторяет конфигурацию нити после ее выгорания и имеет ячеистую структуру с размерами пор от 30 до 100 мкм. Структура спеченного микронного порошка, окружающего нанопорошок, плотная, с малым количеством пор до 10 мкм.

На микроснимке (рис. 8) видно, что помимо образованных импрегнированным в нить нанопорошком канальных пор в структуре также имеются поры в виде сфер. Данные поры могли быть образованы за счет вовлечения воздуха в систему нанопорошок – связка, а также за счет плохой смачиваемости нанопорошка и хлопковой нити. Данный факт объясняет более высокую общую пористость образцов с использованием хлопковой нити (на 3 %) по сравнению с образцами с использованием шерстяной нити.

Общая пористость образца без добавок 2,13%, с добавкой импрегнированной шерстяной нитью – 13% и с добавкой хлопковой импрегнированной нитью – 17%. Нанопорошок, распределяясь по плетению нити, после её выгорания выполняет армирующую функцию за счет более плотного собственного спекания. Поэтому прочностные свойства керамики увеличиваются.

При этом образцы, содержащие шерстяную нить, более прочные, чем образцы, содержащие хлопковую нить (таблица). Полученный результат объясняется различной впитывающей способностью шерстяной

и хлопковой нитей (измеренная в работе впитывающая способность шерстяной нити на 30% больше, чем хлопковой), т.е. количество нанопорошка в образцах с шерстяной нитью больше, чем с хлопковой. А образец с шерстяной нитью более прочен, чем без добавок, несмотря на его большую пористость.

Заключение

Проведенное исследование показало, что природа порообразующих волокнистых добавок оказывает большое влияние на спекание керамики и её прочностные свойства. На эффективность вводимых спекающих добавок влияет одновременно вводимый наноразмерный оксид. Образцы с импрегнированными нанопорошком текстильными волокнами имеют плотное строение по периферии и ячеистое строение по центру с размерами пор до 50 мкм. При этом при введении импрегнированной нанопорошком нити повышается не только пористость, но и прочность образцов. Нанопорошок распределяется по плетению нити и после выгорания нити выполняет армирующую функцию.

Список литературы

1. Задорожная О.Ю., Тиунова (Петрова) О.В., Богаев А.А., Хабас Т.А., Непочатов Ю. К., Шкодкин А.В. Влияние добавок наноразмерного ZrO_2 и технологических параметров процесса прессования на свойства композитов на основе Al_2O_3 и ZrO_2 // Новые огнеупоры. – 2013 – № 10. – С. 21–26.
2. Лукин Е.С. Прочная и особо прочная керамика на основе оксида алюминия и частично стабилизированного диоксида циркония / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, А.Л. Попова, А.Л. Кутейникова и др // Стекло и керамика. – 2003. – № 9. – С. 32–34.

3. Пористый керамический имплантат для мелких подвижных суставов: патент Рос. Федерация № 134793; заявл. 11.12.2012; опубл. 27.11.2013.
4. Хабас Т.А., Китлер В.Д., Чесноков Н.В. Оценка степени однородности оксиднометаллических шихт с наноразмерным компонентом // Известия вузов. Физика. – 2011. – Т. 54 – № 11/3. – С. 318–325.
5. Bajpai S.K. The use of cotton fibers as reinforcements in composites / Bajpai S.K., Mary G., Chand N. // Biofiber reinforcement in composite materials. – 2015. – P. 320–341.
6. Ghomi, H. Fabrication and characterization of triple nanobioceramic composite foam / H. Ghomi, M.H. Fathi, H. Edris // Journal of Composite Materials. – 2012. – Vol. 46, № 15. – P. 1809–1817.
7. Khabas T.A., Maletina L.V., Kamyshnaya K.S. Influence of nanopowders and pore-forming additives on sintering of alumina-zirconia ceramics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – Vol. 66, Article number 012050. – P. 1–6.
8. Netti P.A. Biomedical foams for tissue engineering applications. – 2014 – P. 426.
9. Podshivalov L. Design, analysis and additive manufacturing of porous structures for biocompatible micro-scale scaffolds / Podshivalov L., Gomes C.M., Zocca A., Bar-Yoseph P., Fischer A. // Procedia CIRP. – 2013. – Vol 5. – P. 247–252.
10. Preiss, A. Tailored graded pore structure in zirconia toughened alumina ceramics using double-side cooling freeze casting / A. Preiss, B. Sua, S. Collins et al. // J. Eur. Ceramic Soc. – 2012. – Vol. 32, № 8. – P. 1575–1583.
11. Samavedi S. Synthetic biomaterials for regenerative medicine applications / S. Samavedi, L.K. Piondexter, M. Van Duke, A.S. Goldstein // Regenerative Medicine Applications in Organ Transplantation. – 2014. – P. 81–99.
4. Habas T.A., Kitler V.D., Chesnokov N.V. Ocenka stepeni odnorodnosti oksidometallicheskih shiht s nanorazmernym komponentom // Izvestija vuzov. Fizika. 2011. T. 54 no. 11/3. pp. 318–325.
5. Bajpai S.K. The use of cotton fibers as reinforcements in composites / Bajpai S.K., Mary G., Chand N. // Biofiber reinforcement in composite materials. 2015. pp. 320–341.
6. Ghomi, H. Fabrication and characterization of triple nanobioceramic composite foam / H. Ghomi, M.H. Fathi, H. Edris // Journal of Composite Materials. 2012. Vol. 46, no. 15. pp. 1809–1817.
7. Khabas T.A., Maletina L.V., Kamyshnaya K.S. Influence of nanopowders and pore-forming additives on sintering of alumina-zirconia ceramics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2014. Vol. 66, Article number 012050. pp. 1–6.
8. Netti P.A. Biomedical foams for tissue engineering applications. 2014 pp. 426.
9. Podshivalov L. Design, analysis and additive manufacturing of porous structures for biocompatible micro-scale scaffolds / Podshivalov L., Gomes C.M., Zocca A., Bar-Yoseph P., Fischer A. // Procedia CIRP. 2013. Vol 5. pp. 247–252.
10. Preiss, A. Tailored graded pore structure in zirconia toughened alumina ceramics using double-side cooling freeze casting / A. Preiss, B. Sua, S. Collins et al. // J. Eur. Ceramic Soc. 2012. Vol. 32, no. 8. pp. 1575–1583.
11. Samavedi S. Synthetic biomaterials for regenerative medicine applications / S. Samavedi, L.K. Piondexter, M. Van Duke, A.S. Goldstein // Regenerative Medicine Applications in Organ Transplantation. 2014. pp. 81–99.

References

1. Zadorozhnaja O.Ju., Tiunova (Petrova) O.V., Bogaev A.A., Habas T.A., Nepochatov Ju. K., Shkodkin A.V. Vlijanie dobavok nanorazmernogo ZrO₂ i tehnologicheskikh parametrov processa pressovaniya na svojstva kompozitov na osnove Al₂O₃ i ZrO₂ // Novye ognepory. 2013 no. 10. pp. 21–26.
2. Lukin E.S. Prochnaja i osobo prochnaja keramika na osnove oksida aljuminija i chastichno stabilizirovannogo dioksida cirkonija / E.S. Lukin, N.A. Makarov, A.L. Popova, A.L. Kutejnikova i dr // Steklo i keramika. 2003. no. 9. pp. 32–34.
3. Poristyj keramicheskij implantat dlja melkih podviznyh sustavov: patent Ros. Federacija no. 134793; zajavl. 11.12.2012; opubl. 27.11.2013.

Рецензенты:

Ильин А.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей и неорганической химии Института физики высоких технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Коробочкин В.В., д.т.н., профессор кафедры общей химической технологии Института природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

УДК 51.004

К ВОПРОСУ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА МЕЖДУ РАЗНОТИПНЫМИ СРЕДСТВАМИ ЗАЩИТЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА

¹Кочедыков С.С., ¹Кравченко А.С., ²Родин С.В., ²Перминов Г.В., ¹Душкин А.В.

¹ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», Воронеж, e-mail: a_dushkin@mail.ru;

²ФГОУ ВПО «Воронежский институт МВД России», Воронеж, e-mail: irosvment@mail.ru

Так как существует некоторое многообразие источников угроз несанкционированного доступа к информации, обрабатываемой в информационно-телекоммуникационных системах различного назначения, а также некоторое многообразие средств защиты информации, обусловленных использованием принципиально различных механизмов защиты информации, это приводит к несогласованному, а в некоторых случаях неэффективному использованию таких средств защиты. С целью устранения такого рода противоречий предлагается подход, обеспечивающий совместное использование разных по типу средств защиты информации за счет решения задачи оптимального распределения временного ресурса, отвлекаемого от вычислительного ресурса информационно-телекоммуникационной системы. В качестве оценки средств защиты информации от несанкционированного доступа используется вероятностный подход. Наиболее удобной формой получения этих вероятностей является имитационное моделирование процессов обработки информации в информационно-телекоммуникационной системе с учетом значимости (важности) задач защиты информации, определяемой с использованием методов экспертной оценки.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационная система, защита информации, несанкционированный доступ, математическая модель, процесс

TO THE QUESTION OF INFORMATION OF THE STRUCTURE TIME ALLOCATION OF RESOURCES BETWEEN DIFFERENT TYPES OF MEANS OF PROTECTION AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS

¹Kochedykov S.S., ¹Kravchenko A.S., ²Rodin S.V., ²Perminov G.V., ¹Dushkin A.V.

¹Voronezh Institute of the Federal penitentiary service of Russia, Voronezh, e-mail: a_dushkin@mail.ru;

²Voronezh Institute of the Ministry of internal Affairs of Russia, Voronezh, e-mail: irosvment@mail.ru

Considering that there are a variety of sources of threats unauthorized access to information processed in information and telecommunication systems for various applications, and the availability to some variety of means of information protection, due to the use of fundamentally different mechanisms of information protection, leads to inconsistent, and in some cases inefficient use of such remedies. To resolve such contradictions, we propose an approach for joint use of different means of information protection at the expense of solving the problem of optimum allocation of time resources, we distract from the computing resource of information and telecommunication systems. As assessment of information protection from unauthorized access uses a probabilistic approach. The most convenient form of obtaining these probabilities is a simulation of the processes of information processing in information and telecommunications system in view of the importance of the task of protection of the information defined using the methods of expert evaluation.

Keywords: information-telecommunications system, protect information, unauthorized access, mathematical model, process

Анализ результатов информатизации всех сфер общественной жизни свидетельствуют о подавляющем количестве средств обработки информации и средств ее обмена в информационно-телекоммуникационных системах (ИТКС). Вместе с тем увеличение объемов обрабатываемой в ИТКС информации приводит к возрастанию угроз их информационной безопасности, в том числе и угроз несанкционированного доступа (НСД), что, в свою очередь, приводит к необходимости обеспечения защиты процессов, связанных с обработкой информации. Выработка мер защиты информации, адекватных угрозам обрабатываемой информации в ИТКС, привела к разработке соответствующих средств защиты информации (СЗИ), в том числе от НСД.

Вместе с тем многообразие источников угроз НСД к информации в ИТКС и разнотипность СЗИ, обусловленная использованием принципиально различных механизмов защиты информации, приводят к несогласованному, а в некоторых случаях неэффективному использованию СЗИ.

С целью устранения такого рода противоречий предлагается методический подход, обеспечивающий совместное использование разнотипных СЗИ за счет решения ряда частных оптимизационных задач, связанных с минимизацией отвлечения вычислительного ресурса ИТКС путем его распределения между разнотипными СЗИ исходя из их потенциальных возможностей по реализации задач защиты информации.

С целью решения задачи математического моделирования противодействия НСД к ИТКС разнотипными СЗИ, в условиях минимизации отвращения вычислительного ресурса этих систем, как задачи оптимального распределения ресурса по способам организации защиты информации от НСД необходимо определить целевую функцию и функцию ограничения. В основу алгоритма определения ограничений положена гипотеза о том, что возможности средств защиты информации того или иного типа определяются исходя из частоты их использования и значимости.

Это приводит к необходимости оценки соответствующих возможностей средств защиты информации того или иного типа. В качестве такой оценки предлагается использовать частотную характеристику процесса защиты информации от НСД в ИТКС при ее обработке. В дальнейшем в качестве такой характеристики условимся использовать вектор $\vec{W}$ вероятностей выполнения задач защиты информации от НСД средствами защиты информации придаваемого и встраиваемого типа, формально представляемый в виде

$$\vec{W} = (w_1, w_2),$$

где w_1 – вероятность выполнения задач защиты информации от НСД средствами защиты информации придаваемого типа, а w_2 – вероятность выполнения задач защиты информации от НСД средствами защиты информации встраиваемого типа.

С учетом того, что данные вероятности описывают полную группу событий будет справедливым условие

$$w_1 + w_2 = 1.$$

Наиболее удобной формой получения этих вероятностей является имитационное моделирование процессов обработки информации в ИТКС в условиях противодействия угрозам НСД. Соответствующая схема моделирования должна имитировать:

- 1) многоэтапный процесс обработки информации в ИТКС;
- 2) воздействие угроз на процесс обработки информации в виде попыток прямого манипулирования информацией злоумышленником, либо манипулирования с использованием вредоносных программ;
- 3) противодействие угрозам средствами защиты информации придаваемого и встраиваемого типа. Подобная схема моделирования предполагает имитацию рассмотрен-

ных выше процессов на заданном интервале моделирования. В результате формируется множество $Q^{(y)} = \{q_s^{(y)}, s=1,2,\dots,S\}$ инициированных воздействий угроз НСД.

Обозначив через $Q^{(y)}$ подмножество элементов $Q^{(y)}$, обслуживание которых производилось средствами защиты информации придаваемого типа, а через $Q''^{(y)}$ – подмножество элементов $Q^{(y)}$, обслуживание которых производилось средствами защиты информации встраиваемого типа, частотную характеристику процесса защиты информации в ИТКС при ее обработке запишем в виде:

$$w_1 = \frac{|Q^{(y)}|}{|Q^{(y)}| + |Q''^{(y)}|};$$

$$w_2 = \frac{|Q''^{(y)}|}{|Q^{(y)}| + |Q''^{(y)}|}.$$

С учетом изложенного требуемая вероятность реализации задач защиты информации СЗИ придаваемого типа определяется в соответствии с выражением

$$E_{(тр)}^{(np)} = w_1 \cdot \xi_1,$$

где ξ_1 – важность (значимость) задач защиты информации СЗИ придаваемого типа, определяемая методом непосредственной оценки.

Требуемая вероятность реализации задач защиты информации СЗИ встраиваемого типа определяется в соответствии с выражением

$$E_{(тр)}^{(bc)} = w_2 \cdot \xi_2,$$

где ξ_2 – важность задач защиты информации СЗИ встраиваемого типа.

Обобщенная требуемая вероятность противодействия угрозам НСД к информации в ИТКС определяется в соответствии с выражением

$$E_{(зн)}^{(тр)} = E_{(тр)}^{(np)} \cdot E_{(тр)}^{(bc)}.$$

Схема организации защиты СЗИ придаваемого типа может быть реализована путем решения одной или нескольких задач защиты информации обеспечивающих механизм данного типа защиты. При этом совокупность элементарных событий по решению этих задач является независимой. Это дает основание полагать, что обобщенный показатель эффективности противодействия НСД к ИТКС средствами придаваемого типа определяется в соответствии с выражением

$$E_{(зн)}^{(np)} = 1 - (1 - E_1)^{\lambda_1} (1 - E_2)^{\lambda_2} \dots (1 - E_i)^{\lambda_i} = 1 - \prod_{i=1}^I (1 - E_i)^{\lambda_i}, \quad (1)$$

где E_i – эффективность i -й задачи защиты, согласно выражению $\tau_{(зи)}^{(вс)} \leq \tau_{(мз)}^{(вс)}$, $\tau_{(зи)}^{(вс)}$ – фактическое время выполнения задач СЗИ; $\tau_{(мз)}^{(вс)}$ – максимальное время действия СЗИ, время действия активного периода вредоносного программного воздействия; λ_i – индикатор отвлечения вычислительного ресурса за счет использования i -й задачи защиты средствами СЗИ.

В случае СЗИ встраиваемого типа механизм организации защиты может быть реализован путем решения одной или нескольких последовательностей задач защиты информации. Совокупность элементарных событий по реализации таких последовательностей является независимой. В этом случае эффективность противодействия НСД к ИТКС при решении j -й последовательности задач защиты информации средствами данного типа определяется в соответствии с выражением

$$E_j^{(вс)} = P(\tau_{j,1} \cdot \mu_{j,1} + \tau_{j,2} \cdot \mu_{j,2} + \dots + \tau_{j,N} \cdot \mu_{j,N} \leq \tau_{(мз)}^{(вс)}), \quad (2)$$

где $\tau_{j,n}$ – время выполнения n -й задачи в j -й последовательности; $\mu_{j,n}$ – индикатор отвлечения вычислительного ресурса за счет использования n -й задачи в j -й последовательности, определяемый по формуле

$$\mu_{j,n} = \begin{cases} 1, & \text{если } n\text{-я задача используется} \\ & \text{в } j\text{-й последовательности;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда обобщенный показатель эффективности противодействия НСД к ИТКС средствами данного типа определяется в соответствии с выражением

$$E_{(зи)}^{(вс)} = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - E_j^{(вс)}).$$

С учетом изложенного обобщенный показатель эффективности противодействия угрозам НСД к ИТКС разнотипными СЗИ определяется согласно выражению

$$E_{(зи)} = 1 - (1 - E_{(зи)}^{(пр)})^{\lambda_i} (1 - E_{(зи)}^{(вс)}). \quad (3)$$

Рассмотренные ограничения используются в дальнейшем при решении оптимизационной задачи по минимизации отвлечения вычислительного ресурса ИТКС в условиях противодействия угрозам НСД разнотипными СЗИ.

В основу алгоритма определения минимального уровня отвлечения вычислительного ресурса ИТКС положены требования наличия резерва вычислительного ресурса

ИТКС, унифицированности параметра представления вычислительного ресурса ИТКС и согласованности целей при решении задач обработки информации и ее защиты. С целью определения минимального уровня отвлечения вычислительного ресурса ИТКС проведем анализ классических и эвристических подходов решения аналогичных задач.

Наиболее приемлемым в этом плане является класс задач математического программирования, позволяющий проводить оптимизацию решений, для которых характерны следующие условия: показатель эффективности представляет собой функцию от элементов решения; ограничительные условия, налагаемые на возможные решения, имеют вид равенств или неравенств. Рассмотрим в этом контексте оптимизационную задачу.

Будем считать, что *имеется* пять задач $z_i^{(пр)}$, $i = 1, 2, \dots, 5$ защиты информации, решаемых придаваемыми средствами защиты информации, и пять задач $z_j^{(вс)}$, $i = 1, 2, \dots, 5$ защиты информации, решаемых встраиваемыми средствами: $z_1^{(пр)}$ – разграничение доступа к вычислительным ресурсам и устройствам ИТКС; $z_2^{(пр)}$ – разграничение полномочий пользователей; $z_3^{(пр)}$ – преобразование данных; $z_4^{(пр)}$ – контроль последствий влияния угроз НСД к информации в ИТКС; $z_5^{(пр)}$ – поддержание целостности вычислительной среды; $z_1^{(вс)}$ – контроль процесса обработки информации на предмет его подверженности угрозам НСД; $z_2^{(вс)}$ – выявление угроз НСД; $z_3^{(вс)}$ – подавление угроз НСД; $z_4^{(вс)}$ – идентификация последствий воздействия угроз НСД к информации в ИТКС; $z_5^{(вс)}$ – оперативное восстановление информационных процессов, подвергнутых воздействию угроз НСД.

Требуется таким образом распределить вычислительный ресурс ИТКС между задачами защиты информации, выполняемыми разнотипными средствами, чтобы достичь его минимального отвлечения, обеспечив требуемый уровень ее защиты $E_{(зи)}^{(тр)}$.

Согласно приведенной выше структурной схеме механизм организации защиты СЗИ придаваемого типа изобразим на рис. 1.

Для этого обозначим через λ_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ коэффициенты отвлечения вычислительного ресурса ИТКС средствами защиты информации придаваемого типа при решении ими соответствующих задач защиты информации. В этом случае имеет место выражение

$$\lambda_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я задача защиты информации используется,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

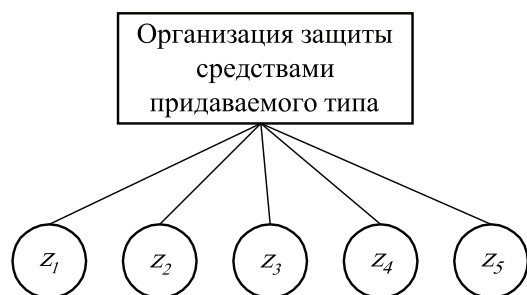


Рис. 1. Структурная схема механизма организации защиты СЗИ придаваемого типа

Соответствующий i -й задаче защиты информации объем вычислительного ресурса обозначим через x_i , $i = 1, 2, \dots, 5$. В свою очередь механизм организации защиты СЗИ встраиваемого типа формально можно представить следующим образом (рис. 2).

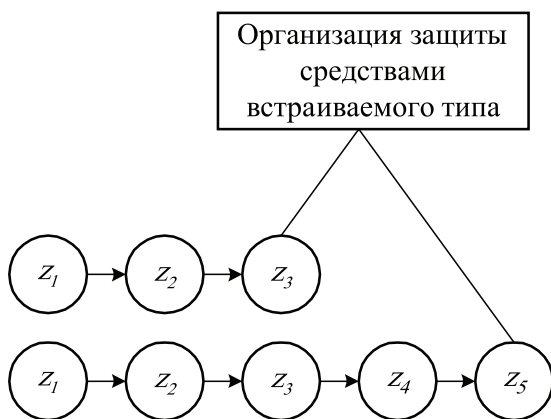


Рис. 2. Структурная схема механизма организации защиты СЗИ встраиваемого типа

Обозначим через $\mu_j^{(1)}$, где $j = 1, 2, 3$ – коэффициент отвращения вычислительного ресурса ИТКС, средствами встраиваемого типа при решении ими задач обнаружения угроз НСД к ИТКС, а через $\mu_l^{(2)}$, $l = 1, 2, \dots, 5$ – коэффициент отвращения вычислительного ресурса ИТКС, средствами встраиваемого типа при решении ими задач полного цикла противодействия НСД к ИТКС. При этом $\mu_j^{(1)}$ ($\mu_l^{(2)}$) соответствует числу реализаций данной последовательности задач.

Обозначим через y_j , $j = 1, 2, 3$ объем вычислительного ресурса, отвлекаемый для реализации j -й задачи защиты, а через y_l , $l = 1, 2, \dots, 5$ – объем вычислительного ресурса, отвлекаемый для реализации l -й задачи защиты.

Объем отвлекаемого при этом вычислительного ресурса составит

$$\tau_{(p)} = \sum_{i=1}^5 \lambda_i \cdot x_i + \mu_j^{(1)} \sum_{j=1}^3 y_j + \mu_l^{(2)} \sum_{l=1}^5 y_l. \quad (4)$$

В свою очередь уровень эффективности противодействия НСД к ИТКС, обеспечиваемый при реализации задач СЗИ обоих типов, не должен быть меньше $E_{(зи)}^{(тр)}$, откуда получаем условие-неравенство

$$E_{(зи)} \geq E_{(зи)}^{(тр)}, \quad (5)$$

в котором $E_{(зи)}$ определяется согласно (3).

Входящие в выражения (1) и (2) коэффициенты λ_i , $\mu_j^{(1)}$ и $\mu_l^{(2)}$ характеризуют степень влияния вычислительного ресурса, отвлекаемого при решении соответствующих задач защиты информации на эффективность противодействия угрозам НСД. Эти условия представляют собой ограничения, накладываемые на решение оптимизационной задачи. Таким образом, решаемая задача имеет следующую формулировку: выбрать такие неотрицательные значения переменных λ_i , $i = 1, 2, \dots, 5$, $\mu_j^{(1)}$, $j = 1, 2, 3$ и $\mu_l^{(2)}$, $l = 1, 2, \dots, 5$, удовлетворяющие неравенству (5), при которых функция этих переменных в формуле (4) обращалась бы в минимум. Поставленная задача представляет собой задачу математического программирования и решается известными методами.

Таким образом, в работе показан вариант совместного использования разных по типу средств защиты информации за счет решения задачи оптимального распределения временного ресурса, отвлекаемого от вычислительного ресурса информационно-телекоммуникационной системы. В основе алгоритма определения ограничений лежит гипотеза об определении возможностей средств защиты информации исходя из частоты их использования и значимости. Оценка эффективности применения средств защиты информации от несанкционированного доступа основана на вероятностном подходе с использованием методов имитационного моделирования процессов обработки информации с учетом значимости (важности) задач защиты.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
2. Душкин А.В. Распознавание угроз несанкционированного воздействия на защищенные информационные телекоммуникационные системы: методы и математические модели: монография. – Воронеж: ВВВАИУ, 2008. 256 с.
3. Душкин А.В., Новосельцев В.И., Сумин В.И. Математические модели и информационные процессы управления сложным объектом: монография. – Воронеж: Научная книга, 2014. 125 с.
4. Иглхарт Д.Л., Шедлер Д.С. Регенеративное моделирование сетей массового обслуживания: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 136 с.

5. Кочедыков С.С. Математическая модель противодействия НСД к ИТКС разнотипными СЗИ в условиях минимизации отвращения вычислительного ресурса: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2002.

6. Кочедыков С.С. Методический подход к решению задачи оптимального распределения временного резерва в интересах обеспечения информационной безопасности разнородными системами защиты информации. Информационная и безопасность. – 2001. – № 1. – С. 60–63.

7. Кочедыков С.С. и др. Об одном способе решения задачи оптимального распределения временного резерва в информационно-телекоммуникационных системах в интересах обеспечения информационной безопасности. Информационная и безопасность. – 2000. – № 1. – С. 40–44.

8. Кофман Б. Методы и модели исследования операций: пер. с франц. – М.: Мир, 1966. – 523 с.

9. Литван Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 181 с.

10. Хедли Дж. Нелинейное динамическое программирование: пер. с англ. – М.: Мир, 1967. 506 с.

5. Kochedykov S.S. Matematicheskaja model protivodejstvija NSD k ITKS raznotipnymi SZI v uslovijah minimizacii otvlechenija vychislitel'nogo resursa: dis. ... kand. tehn. nauk. Voronezh, 2002.

6. Kochedykov S.S. Metodicheskij podhod k resheniju zadachi optimalnogo raspredelenija vremennogo rezerva v interesah obespechenija informacionnoj bezopasnosti raznorodnymi sistemami zashhity informacii. Informacija i bezopasnost. 2001. no. 1. pp. 60–63.

7. Kochedykov S.S. i dr. Ob odnom sposobe reshenija zadachi optimalnogo raspredelenija vremennogo rezerva v informacionno-telekommunikacionnyh sistemah v interesah obespechenija informacionnoj bezopasnosti. Informacija i bezopasnost. 2000. no. 1. pp. 40–44.

8. Kofman B. Metody i modeli issledovanija operacij: per. s franc. M.: Mir, 1966. 523 p.

9. Litvan B.G. Jekspertnaja informacija. Metody poluchenija i analiza. M.: Radio i svjaz, 1982. 181 p.

10. Hedli Dzh. Nelinejnoe dinamicheskoe programmirovanie: per. s angl. M.: Mir, 1967. 506 p.

References

1. Ventcel E.S. Issledovanie operacij. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 p.

2. Dushkin A.V. Raspoznavanie ugroz nesankcionirovanogo vozdejstvija na zashhishhennye informacionnye telekommunikacionnye sistemy: metody i matematicheskie modeli: monografija. Voronezh: VVVAIU, 2008. 256 p.

3. Dushkin A.V., Novoselcev V.I., Sumin V.I. Matematicheskie modeli i informacionnye processy upravlenija slozhnym obektom: monografija. Voronezh: Nauchnaja kniga, 2014. 125 p.

4. Iglhart D.L., Shedler D.S. Regenerativnoe modelirovanie setej massovogo obsluzhivaniya: per. s angl. M.: Radio i svjaz, 1984. 136 p.

Рецензенты:

Сумин В.И., д.т.н., профессор кафедры управления и информационно-технического обеспечения, ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», г. Воронеж;

Дубровин А.С., д.т.н., доцент, профессор кафедры управления и информационно-технического обеспечения, ФКОУ ВПО «Воронежский институт ФСИН России», г. Воронеж.

УДК 621.642.39.03

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДНИЩА И АНОДНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ РВСПК-20000 БЕЗ ДЕМОНТАЖА ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ

¹Кузовников Е.В., ¹Шарков А.Е., ¹Соколов С.С., ²Тарасенко А.А., ²Чепур П.В.¹ООО НПП «Симплекс», Тюмень, e-mail: simplex_rvs@mail.ru;²Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com

В статье рассмотрены особенности применения технологии ремонта днища и анодного заземления вертикального стального цилиндрического резервуара РВСПК-20000 м³ без демонтажа плавающей крыши при его реконструкции. Основной выполненной нетривиальной задачей данного проекта явилось проведение работ внутри резервуара в стесненных условиях подпонтонного пространства. Для замены днища резервуара совместно с протяженными анодными заземлителями, располагающимися на глубине 0,9 м от поверхности, предложен технологический коридор, свободный от стоек плавающей крыши, а также технологический коридор для перемещения демонтированных материалов, грунта, новых листов днища в сторону монтажного проема в стенке. В рамках предложенной монтажной схемы плавающая крыша находилась в монтажном положении, предусмотренном проектом строительства резервуара, с обеспечением подпонтонного пространства высотой 2,2 м. Для решения задачи обеспечения прочности конструкции была построена конечно-элементная модель плавающей крыши в программном комплексе ANSYS, позволяющая проанализировать её НДС при различных вариантах монтажных нагрузок. Результаты, полученные с помощью модели, легли в основу принятых проектных решений. С применением МКЭ [4–6, 8–10, 12–15] была теоретически обоснована и предложена конструкция временного усиливающего каркаса, которая обеспечила пятикратный запас прочности – достаточный для проведения строительно-монтажных работ.

Ключевые слова: резервуар, РВС, РВСПК, днище, ремонт днища, плавающая крыша

THE TECHNOLOGY OF BOTTOM AND ANODE GROUNDING REPAIR WITHOUT DISMANTLING THE FLOATING ROOF OF AST-20000

¹Kuzovnikov E.V., ¹Sharkov A.E., ¹Sokolov S.S., ²Tarasenko A.A., ²Chepur P.V.¹Simplex, Tyumen, e-mail: simplex_rvs@mail.ru;²Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com

This article examines the use of technology of repair and bottom anode grounding vertical cylindrical steel tank RVSPK-20000 m³ without dismantling the floating roof during its reconstruction. The main non-trivial task performed this project was to carry out works within the tank in cramped conditions space. To replace the bottom of the tank together with the extended anode bed, at a depth of 0,9 m below the surface, the process is designed corridor free of floating roof racks, as well as technological corridor to move the dismantled materials, soil, new bottom plates in the direction of the installation hole in the wall. Under the proposed wiring floating roof was in the mounting position provided for the construction project of the tank ensuring reinforce with a height of 2,2 m. To meet the challenge of structural strength was built finite element model of the floating roof in the software package ANSYS, allowing it to simulate various embodiments, the mounting loads. The results obtained by the model formed the basis of the design solutions. Using FEM was modeled temporary reinforcing frame proposed construction of which provided a fivefold safety margin – enough for construction and installation works.

Keywords: tank, AST, ASTFR, bottom, repair of the bottom, floating roof

В настоящей статье авторами предлагается рассмотреть технологические аспекты ремонта днища и анодного заземления вертикального стального резервуара РВСПК – 20000 м³ (рис. 1) без демонтажа плавающей крыши, резервуар был выведен в ремонт в 2014 г. по результатам полной технической диагностики. Условия эксплуатации были осложнены тем, что объект расположен в 20 км от Каспийского моря (Республика Казахстан), где воздух и грунт имеют высокие показатели содержания солей, а следовательно, скорость коррозии металлоконструкций существенно увеличивается.

В ходе технической диагностики резервуара проводились магнитное сканирование и ультразвуковой контроль в полном объеме согласно требованиям действующей нормативной документации. Результаты диагностики показали значительные коррозионные повреждения по всей площади днища и окраек резервуара со стороны грунта, также выявлены отказы (обрыв) 70 % графитовых анодных заземлителей, расположенных под днищем резервуара.

При выборочном вскрытии центральной части днища коррозионные повреждения металла подтвердились. Согласно данным

проектной документации на строительство данного резервуара, антикоррозионная защита металла центральной части днища со стороны грунта не предусмотрена. При вскрытии отказных анодных заземлителей в выборочных шурфах было выявлено, что износ анодных заземлителей не превышает 5%, а их выход из строя связан с обрывом электрического контакта кабеля в узле полевого присоединения к анодному заземлителю с оплавлением контактов, что могло произойти вследствие превышения силы тока защиты заданным для данного соединения параметрам. Вскрытие шурфов также позволило установить засоленность грунта песчаной засыпки основания резервуара.

– увеличение тока защиты анодных заземлителей связано с отсутствием антикоррозионной защиты (гидрофобного слоя) днища резервуара со стороны грунта, что резко уменьшило удельное сопротивление защищаемого сооружения и, как следствие, привело к увеличению тока защиты.

При эксплуатации резервуара соответствующими службами было выявлено наличие вод, находящихся в «чаше» основания резервуара в грунтовых порах засыпки и попадающих в систему улавливания протечек нефти при заполнении резервуара.

По результатам полной технической диагностики резервуара потребовалась замена затвора и водоспуска плавающей

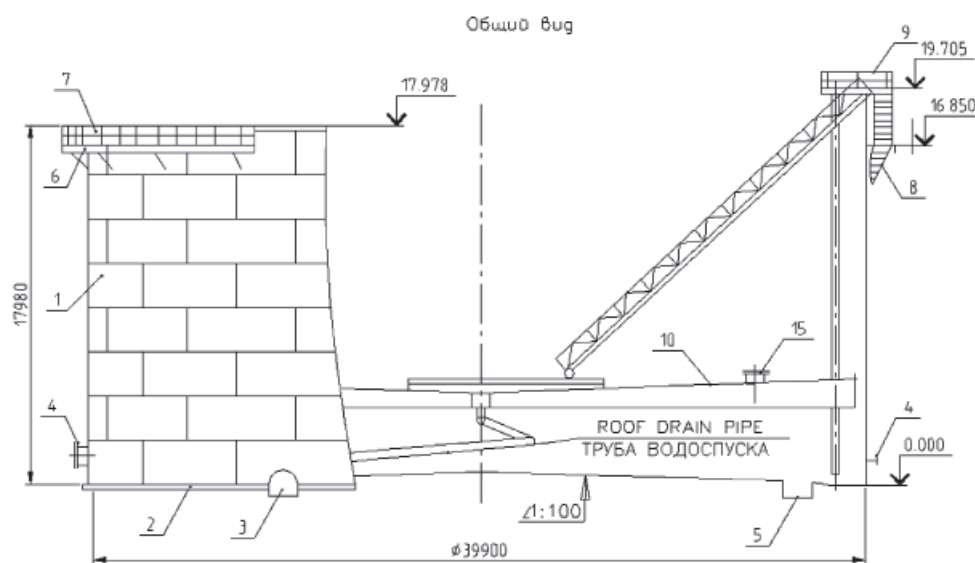


Рис. 1. Общий вид резервуара РВСПК-20000 м³:

1 – стенка; 2 – окрайка и днища; 3 – очистной люк; 4 – патрубки и люки на стенке; 5 – зумпф зачистки; 6 – ветровое кольцо; 7 – ограждение; 8 – лестница; 9 – переход на катучную лестницу; 10 – плавающая крыша; 11 – подкладки; 12 – катучная лестница

Повреждения остальных элементов резервуара, таких как двудечная стальная плавающая крыша, стенка, фундамент, направляющие стойки крыши и технологическая обвязка в целом, были не значительны и соответствовали сроку эксплуатации резервуара.

Основание резервуара представляет собой железобетонную чашу на сваях. Внутри чаши располагается система контроля протечек, протяженные анодные заземлители ЭХЗ и грунтовая засыпка. Проанализировав полученные результаты диагностического обследования, сделали следующие выводы:

– система ЭХЗ днища резервуара вышла из строя в связи с превышением тока защиты относительно проектных и заводских параметров анодных заземлителей;

крыши. Результаты обследования отстойки фундамента резервуара также показали необходимость её замены. Таким образом, для проекта ремонта резервуара Заказчиком были сформулированы следующие задачи: ремонт дефектов основного металла по результатам полной технической диагностики; полная замена центральной части днища и окрайек; замена патрубков первого пояса стенки в связи с технологической необходимостью при проведении работ по замене окрайек днища; замена уторной полосы первого пояса стенки, высотой 500 мм, в связи с технологической необходимостью при проведении работ по замене окрайек днища; полная замена анодных заземлителей; проведение ремонта без демонтажа плавающей крыши; устранение

путей попадания атмосферных осадков в грунтовую засыпку основания РВСПК.

Учитывая особенности основания резервуара, выполнить электрохимическую защиту дна РВСПК от грунтовой коррозии было возможно только с применением протяженных анодных заземлителей, располагаемых под днищем резервуара. Основной нетривиальной задачей данного проекта являлось проведение работ внутри резервуара в стесненных условиях подпонтонного пространства. Для замены дна резервуара совместно с протяженными анодными заземлителями, располагающимися на глубине 0,9 м от поверхности, необходим технологический коридор, свободный от стоек плавающей крыши, а также технологический коридор для перемещения демонтированных материалов, грунта, новых листов дна в сторону монтажного проема в стенке. Плавающая крыша при этом находится в монтажном положении, предусмотрен-

ном проектом строительства резервуара, и обеспечивает подпонтонное пространство высотой 2,2 м.

Для решения данной задачи была построена конечно-элементная модель плавающей крыши в программном комплексе ANSYS, позволяющая оценить её НДС при различных вариантах монтажных нагрузок [1–3, 7, 11]. Результаты, полученные с помощью модели, легли в основу принятых проектных решений, описанных далее.

Прокладка анодных заземлителей выполнялась в траншее глубиной 0,9 м с шагом 2 м (рис. 2). Анодные заземлители выполняются с заводским соединением анод-кабель во избежание выгорания контакта. Для обеспечения работы ЭХЗ в штатном режиме требуется изолирующий слой защищаемого сооружения (днища) с высоким удельным сопротивлением растеканию тока.

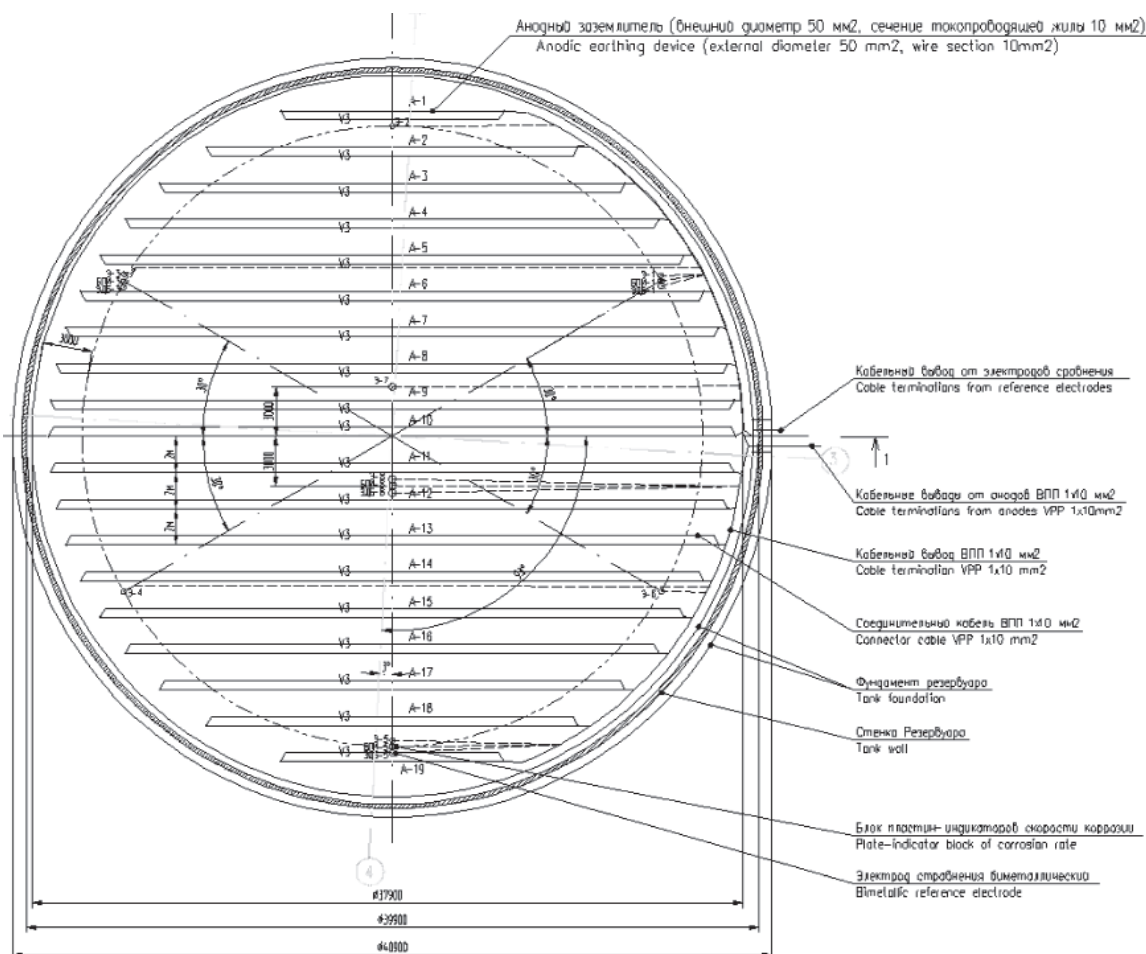


Рис. 2. Схема расположения протяженных анодных заземлителей под днищем резервуара

Проектом предусмотрено устройство гидрофобного (гидроизолирующего) слоя между грунтовой подушкой основания резервуара (грунтовой наполнитель чаши) и металлом центральной части днища. Наиболее целесообразным при выполнении работ в стесненных условиях, а также экономически оправданным вариантом гидрофобного слоя центральной части днища является песчано-битумная смесь. Под центральной частью днища РВСПК гидрофобный слой устраивается из песчано-битумной смеси следующего состава: песок, крупностью от 0,1 до 2 мм – 70%; песчаные пылеватые и глинистые частицы, крупностью менее 0,1 мм – 20%; вяжущее вещество – 10%. В качестве вяжущего вещества могут применяться жидкие нефтяные битумы и гудроны. Присутствие кислот и свободной серы в вяжущем компоненте не допускается. Коэффициент уплотнения гидрофобного слоя должен быть не ниже 0,99. Толщина гидрофобного слоя под центральной частью днища 50 мм. Указанные гидроизоляционные материалы помимо изоляции грунтовой влаги от металла днища обеспечивают требуемое значение удельного сопротивления растеканию тока – $5 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$. Гидроизоляция окраек днища выполняется оклеиванием материалом Гидроизол марки ГИ-Г согласно ГОСТ 7415-86, толщиной 2,5 мм.

работ, связанных с вырезкой фрагментов центральной части днища, предусматривалась установка элементов дополнительной жесткости – раскосов. Раскосы были изготовлены из уголков L70×8 длиной 1410 мм и приваривались к стенке и окрайки через подкладные пластины. Раскосы устанавливались с шагом 2090 мм (всего 60 шт.) по внутреннему радиусу стенки со смещением в районе монтажных проёмов. После установки новых окраек раскосы удалялись, особое внимание уделялось недопущению повреждения основного металла стенки.

После установки раскосов была выполнена разметка вырезаемой части днища под траншею для укладки анодов ЭХЗ. Для предотвращения деформации плавающей крыши РВСПК применялись временные стойки и рамы жесткости (рис. 3). В качестве поддерживающей конструкции была принята телескопическая стойка-домкрат, допускающая нагрузку не менее 20 кН, и балка из двутавра 24. Максимальный пролёт между стойками составил 7 м, шаг конструкций не более 3 м. Крепление балки к стойке предусматривалось через съёмную вилку.

После установки поддерживающих элементов был выполнен демонтаж опорных стоек плавающей крыши. Далее производилась вырезка демонтируемых фрагментов днища и удаление их через монтажные

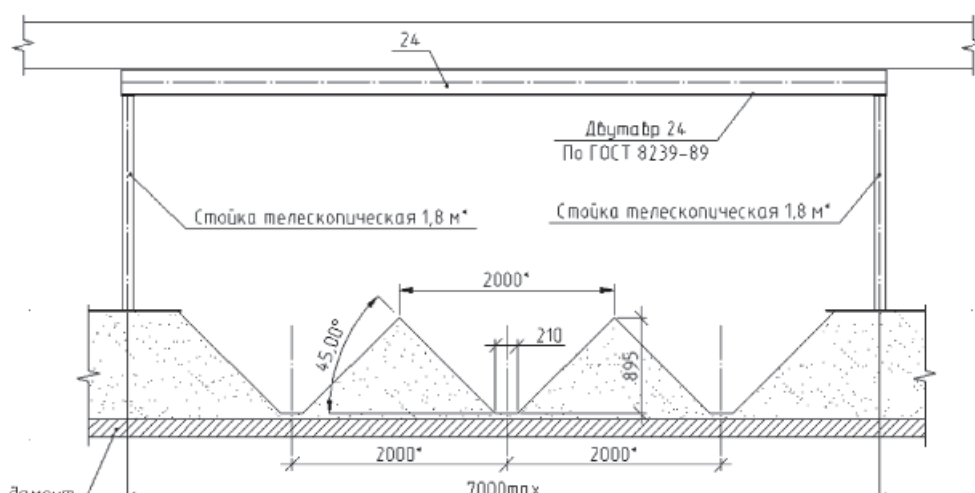


Рис. 3. Временные конструкции, обеспечивающие жесткость мембраны плавающей крыши

Для выполнения работ внутри резервуара была специально разработана технология сквозного движения бригад, подобраны специальные технические приспособления и малогабаритная техника, в составе проекта была разработана технологическая карта. Для предотвращения деформации металлоконструкций резервуара при выполнении

проёмы при помощи мини-погрузчика типа Bobcat. Следующим этапом выполнялась разработка траншеи под укладку анодов ЭХЗ. Выемка существующего грунта была осуществлена на брезент. При разработке траншеи выполнена зачистка створа от элементов старой ЭХЗ, также исключена возможность повреждения трубопроводов

системы контроля утечек. Далее была выполнена укладка анодов ЭХЗ. Траншея засыпана существующим грунтом, слоями по 200 мм с послойным уплотнением ручными виброплитами. Поверх уплотнённого грунта выполнено устройство гидрофобного слоя из песчано-битумной смеси, толщина слоя 20 мм, уклон 1:100 от центра резервуара к стенке, по уплотнённому грунту. Полностью демонтированы поддерживающие конструкции – предварительно установленные ранее опорные стойки крыши. После устройства гидрофобного слоя на участке работ выполнена раскладка рядов центральной части днища.

бованным ранее технологиям с использованием горизонтальных распределяющих ребер жесткости с опорой на вертикальные стойки во избежание деформации стенки при вырезе фрагментов для замены листов. Сечения элементов жесткости также были рассчитаны с использованием конечно-элементной модели стенки резервуара с учетом различных вариантов совместного действия как внешних нагрузок, так и внутренних напряжений в стенке. После ремонта основных конструкций резервуара выполнена замена технологического оборудования согласно заданию Заказчика. Указанный метод ремонта обеспечил

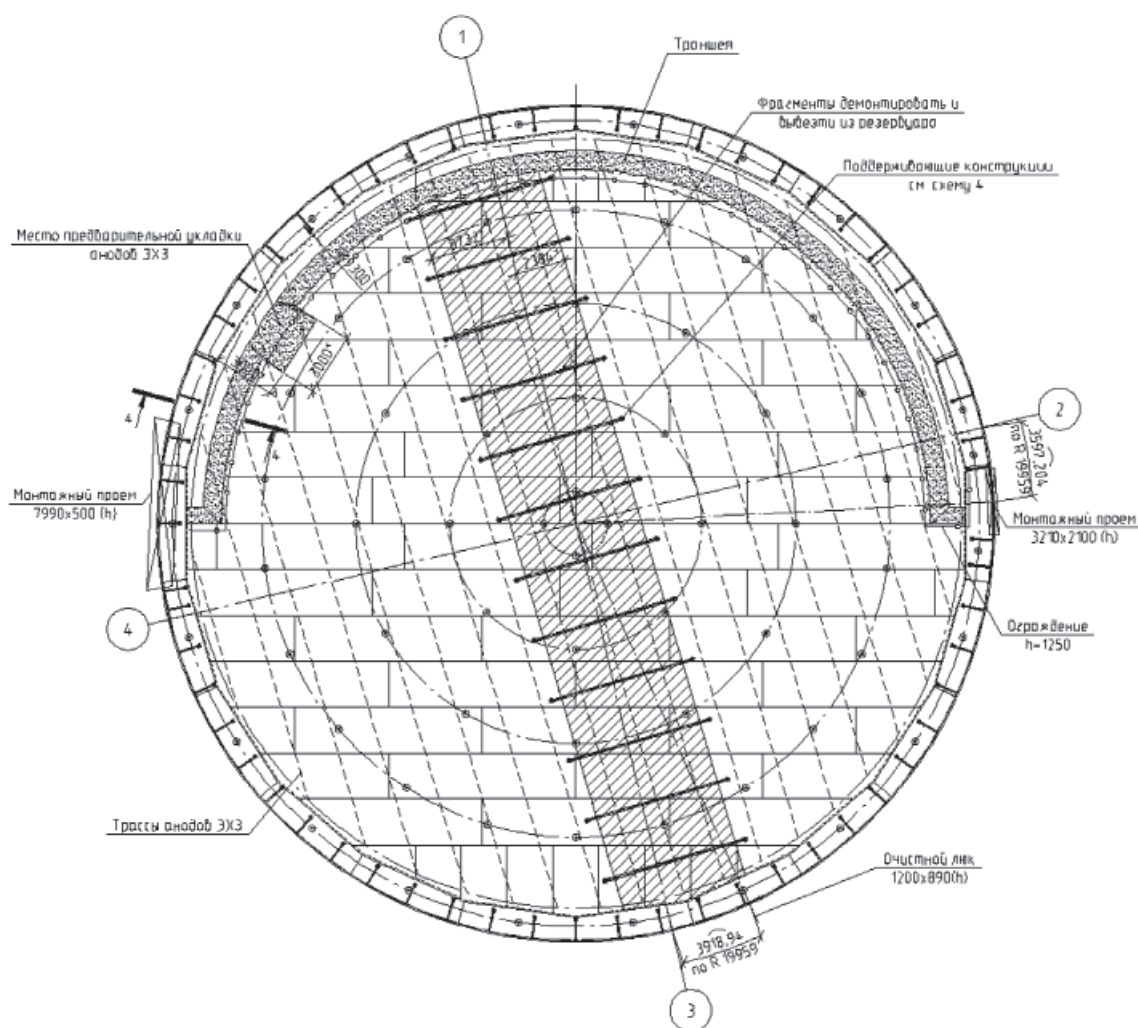


Рис. 4. Монтажная схема

Работы по замене всего днища были произведены аналогично указанной технологии захватками. После выполнения работ по замене центральной части днища и окраек проведены работы по замене первого пояса стенки резервуара по опро-

еconomy средств Заказчика (на 30%) и позволил сократить сроки ремонтных работ (до 50%), что в условиях действующего производства нефтебазы является существенным фактором, подтверждающим его эффективность.

Список литературы

1. Тарасенко А.А., Саяпин М.В. Результаты статистической обработки измерений неравномерных осадок наружного контура днища вертикальных стальных резервуаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 1. – С. 52–56.
2. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко Д.А. Противоречия в современной нормативно-технической базе при ремонте резервуаров // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–15. – С. 3400–3403.
3. Тарасенко А.А., Тюрин Д.В. Моделирование нефтяных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2001. – № 4. – С. 65–69.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Деформирование стационарной крыши крупногабаритного резервуара при неравномерных осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–2. – С. 296–300.
5. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние верхнего опорного кольца резервуара при неосесимметричных деформациях корпуса // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–3. – С. 525–529.
6. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение действующих напряжений от подъемных устройств при ремонте фундамента резервуара // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–11. – С. 2421–2425.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Эволюция взглядов на вопросы определения величины допустимых осадок резервуаров // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–1. – С. 67–84.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния приемо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1471–1476.
9. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Исследование собственной жесткости вертикального стального цилиндрического резервуара // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 121–123.
10. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Обоснование необходимости учета истории нагружения конструкции при ремонте фундамента с подъемом резервуара // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 5. – С. 60–63.
11. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Принцип независимости действия сил при расчете напряженно-деформированного состояния стенки резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1998. – № 4. – С. 73–77.
12. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–7. – С. 1560–1564.
13. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Методика определения необходимости ремонта резервуара при осадках основания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–6. – С. 1336–1340.

14. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Конечно-элементная модель вертикального стального резервуара с усиливающими элементами при его подъеме гидродомкратами // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–5. – С. 1003–1007.

15. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение оптимального количества тросов поддержки днища при подъеме резервуара // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 5. – С. 72–78.

References

1. Tarasenko A.A., Sajapin M.V. *Izvestijavuzov.Neftigaz*. 1999, no.1, pp. 52–56.
2. Tarasenko A.A., Silnitsky P.F., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2013, no.10 part 15, pp. 3400–3403.
3. Tarasenko A.A., Tyurin D.V. *Izvestijavuzov.Neftigaz*. 2001, no. 4, pp. 65–69.
4. Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 11 part 2, pp. 296–300.
5. Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 11 part 3, pp. 525–529.
6. Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 9 part 11, pp. 2421–2425.
7. Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 12 part 1, pp. 67–84.
8. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. *Fundamental research*, 2014, no.9 part 7, pp. 1471–1476.
9. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Neftyanoekhozyaistvo*, 2014, no. 10, pp. 121–123.
10. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. *Bezopasnosttrudavpromyshlennosti*. 2014. pp. 60–63.
11. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. *Izvestijavuzov.Neftigaz*. 1998, no.4, pp. 73–77.
12. Chepur P.V., Tarasenko A.A. *Fundamental research*, 2014, no.8 part 7, pp. 1560–1564.
13. Chepur P.V., Tarasenko A.A. *Fundamental research*, 2014, no.8 part 6, pp. 1336–1340.
14. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Fundamental research*, 2014, no. 9–5, pp. 1003–1007.
15. Chirkov S.V., Tarasenko A.A., Chepur P.V. *Izvestijavuzov. Neftigaz*. 2014, no. 5, pp. 72–78.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

УДК 621.79.03

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКЕ ФЕРРИТОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ УЗЛОВ

Куц Л.Е., Жевалев О.Ю., Родионов И.В., Зоркин А.Я., Приходько М.А.
*ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
Саратов, e-mail: kuts70@yandex.ru*

Проведена оценка высокотемпературной прочности ферритовых материалов в условиях процесса диффузионной сварки (ДС). В процессе диффузионной сварки ферритовые детали подвергаются воздействию температуры 900–1000 °С и сжимающего усилия 0,1–0,5 МПа. В настоящее время отсутствуют надежные данные по высокотемпературной прочности промышленных марок большинства ферритовых материалов, что требует экспериментальных оценок значений прочности ферритовых материалов при выполнении процесса диффузионной сварки. В работе предложено использовать статистическую теорию прочности хрупких материалов на основе модели Вейбулла для оценки высокотемпературной прочности ферритовых материалов. Рассмотрены зависимости высокотемпературной прочности ферритовых материалов от «размерного фактора». Построены зависимости прочности на сжатие и прочности на сдвиг от объема пластин из феррита 30СЧ6 при температуре 1000 °С. Полученные данные позволяют прогнозировать высокотемпературную прочность промышленных марок ферритов при изготовлении ферритометаллических узлов на основе процесса диффузионной сварки (ДС).

Ключевые слова: ферритовые элементы, диффузионная сварка, высокотемпературная прочность, модель Вейбулла

ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS FERRITE MATERIALS IN DIFFUSION WELDING FERRITE METAL PARTS

Kuts L.E., Zhevalev O.Y., Rodionov I.V., Zorkin A.Y., Prikhodko M.A.
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU), Saratov, e-mail: kuts70@yandex.ru

The estimation of high-strength ferrite materials in the process diffusion bonding. During the diffusion bonding ferrite parts are exposed to temperatures 900–1000 °C and 0,1–0,5 MPa compressive stress. Currently, there are no reliable data on the high-strength industrial brands most ferrite materials that require experimental evaluations strength values ferrite materials when performing the diffusion welding process. The paper proposed to use statistical theory of strength of materials based on brittle Weibull model to evaluate the high temperature strength of the ferrite materials. The dependences high-strength ferrite materials from the «size factor». The dependences compressive strength and shear strength by volume of ferrite plates 30СЧ6 at 1000 °C. The data obtained allow to predict high-strength industrial brands in the manufacture of iron ferrite metal parts through a process of diffusion bonding.

Keywords: ferrite elements, diffusion welding, high strength, Weibull model

В радиотехнике находят широкое применение различные приборы на основе ферритовых элементов, которые необходимо крепить к металлическому корпусу. В большинстве случаев для такого крепления используются клеевые соединения. Однако при возрастании мощности ферритовых приборов и связанного с этим возрастания температурных интервалов работы ферритовых элементов используются паяные и сварные соединения. При этом находят применение так называемые ферритометаллические узлы (ФМУ), которые обеспечивают крепление ферритовых элементов на металлическом корпусе прибора. Сварные соединения целесообразно выполнять диффузионной сваркой (ДС). Процесс ДС предполагает существенные термомеханические воздействия на ферритовые элементы (температуры от 900 до 1000 °С, давления сжатия от $0,1 \cdot 10^7$ до $1,5 \cdot 10^7$ Па). В этой связи необ-

ходимы оценки высокотемпературной прочности ферритовых материалов, без которых невозможно проектирование технологического процесса ДС. В каждом конкретном случае оценка высокотемпературной прочности ферритовых материалов конкретных промышленных марок требует выполнения дополнительных экспериментов.

По характеру механических свойств ферриты относятся к хрупким материалам. При этом известны некоторые методики оценки данных свойств [1, 6], которые показывают, что для ферритов наиболее опасными являются деформации растяжения, изгиба и кручения, предел прочности при которых приблизительно в 10–20 раз ниже, чем при сжатии. В общем случае механическая прочность ферритовых элементов зависит от состояния поверхности изделий, их объема, длительности и скорости прикладываемой нагрузки, микроструктуры,

распределения по объему напряжений и дефектов, окружающей среды и температуры.

Техническая прочность ферритов обычно характеризуется значениями прочности, полученными при испытании на контрольных образцах. Однако для ферритов наблюдается большая зависимость прочности от распределения дефектов по объему, что требует учета «размерного фактора», влияние которого заключается в изменении величины прочности с увеличением или уменьшением площади поперечного сечения и объема образца. Указанную особенность объясняет статистическая теория прочности хрупких материалов, связывающая значение прочности с наличием статистически распределенных в изделии дефектов. В изделиях большего объема возрастает вероятность существования дефектов и их сосредоточения в нагруженном сечении, что приводит к уменьшению прочности изделий по сравнению с изделиями меньшего объема (рис. 1).

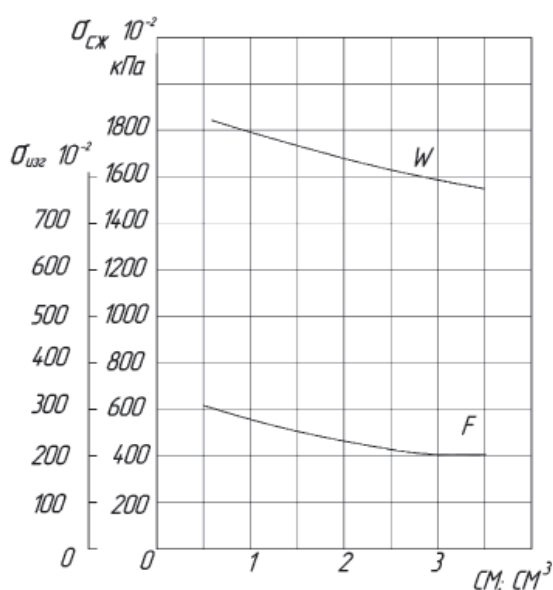


Рис. 1. Влияние объема W и площади поперечного сечения F образца на свойства феррита 50ВЧ2 при различных видах деформации

Из представленной зависимости прочностных характеристик феррита 50ВЧ2 видно, что прочность при всех видах испытаний снижается с увеличением объема и площади поперечного сечения образцов [1].

Для существующих технологий изготовления ферритов характерно наличие в изделиях неоднородностей, дефектов структуры и внутренних напряжений, неупорядоченно распределенных по объему образца. Поэтому при испытании ферритов на прочность наблюдается большая дисперсия величины

прочности. Даже в пределах одной партии образцов с одинаковыми значениями площади поперечного сечения и объема дисперсия в отдельных случаях достигает средней величины, находящейся в диапазоне 25–30%.

Для статистического анализа прочности хрупких материалов и оценки вероятности их разрушения предложено использовать модель Вейбулла (W. Weibull) [2, 4]. Эта модель, основанная на концепции «наиболее слабого звена», рассматривает структуру материала как цепь, прочность которой определяется ее наименее прочным звеном. Вероятность разрушения тела P задается выражением

$$P = 1 - \exp(-R), \quad (1)$$

где R – риск разрушения, определяемый для объема V как

$$R = \int_V \left[(y - y_u) / y_0 \right]^m dV \text{ для } y > y_u; \quad (2)$$

$$R = 0 \text{ для } y < y_u,$$

где y – нагрузка, приложенная к элементу dV ; y_u – предел прочности, т.е. минимальное напряжение, которое может вызвать разрушение; y_0 – нормировочный параметр, имеющий размерность «напряжение × объем^{1/м}», и m – модуль Вейбулла, также называемый параметром формы распределения.

Модуль Вейбулла характеризует распределение прочности по величине y_u . Когда этот модуль возрастает, кривая распределения прочности по величине сужается. В настоящее время отсутствуют данные по значениям m для ферритовых материалов. В работах по оценке зависимости прочности от размеров образцов стекол [5] значения модуля m изменяются от 4 до 15. Предел прочности y_u обычно принимается равным нулю для того, чтобы при нахождении R по уравнению (2) после интегрирования получить функцию только двух параметров, которую легко трансформировать в линейный вид без потери основных результатов анализа. Приравнивание y_u к нулю дает заниженные прочностные характеристики материала (переоценка вероятности разрушения), но без какого-либо существенного изменения в самом характере распределения вероятности разрушения.

В этом случае выражение для R может быть записано в простой форме:

$$R = y_i V_i (y_i / y_0)^m, \quad (3)$$

где y_i – коэффициент, зависящий от условий нагружения тела.

Основное допущение, которое принимается в рассматриваемом случае при использовании модели Вейбулла, состоит в том,

что материал является гомогенной средой с одним типом дефектов, присутствующих в большом количестве и беспорядочно распределенных по материалу.

Тогда можем предположить равенство величин R для разрушения образцов ферритовых элементов разных объемов:

$$R_1 = y_1 \cdot V_1 \cdot (y_1/y_0)^m;$$

$$R_2 = y_2 \cdot V_2 \cdot (y_2/y_0)^m.$$

Для $R_1 = R_2$ будем иметь

$$\lg y_1 + \lg V_1 + m \lg y_1 - m \lg y_0 =$$

$$= \lg y_2 + \lg V_2 + m \lg y_2 - m \lg y_0.$$

Предполагая равенство коэффициентов y_1 и y_2 , зависящих от условий нагружения в технологическом процессе ДС и объема образцов феррита, получим

$$\lg(V_1/V_2) = m \lg(y_2/y_1)$$

$$\text{или} \quad y_2/y_1 = (V_1/V_2)^{1/m}. \quad (4)$$

Это соотношение показывает, что образец с эффективным объемом V_2 характеризуется такой же вероятностью разрушения, как и образец с объемом V_1 , если напряжения изменяются от y_1 до y_2 .

Соотношение (4) может иметь существенное значение для практики. При серийном производстве одинаковых по форме, но имеющих различные геометрические размеры ФМУ возможно прогнозирование их прочности без выполнения экспериментальных испытаний.

Для определения значений модуля Вейбулла для ферритовых деталей и ФМУ, выполненных диффузионной сваркой, в качестве исходных данных использовалась зависимость прочности на сжатие иттриевых феррогранатов при температурах 900 и 1000°C в вакууме порядка $1,33 \cdot 10^{-2} \dots 6,66 \cdot 10^{-3}$ Па [3] (рис. 2).

На данном рисунке приведена зависимость $\sigma_{сж}$ от размеров ферритовых деталей в условиях процесса диффузионной сварки.

Используя значения прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ для ферритов с объемом 0,3; 0,5; 0,75 и 1,0 см³, а также выражение (4), определялось значение модуля Вейбулла (табл. 1).

Принимая значение модуля Вейбулла для $\sigma_{сж}$ равным 1,8, можно экстраполировать графическую зависимость до объема образцов феррита 2,5 см³.

Для построения зависимости прочности на сдвиг $\tau_{сдв}$ от размеров образцов ФМУ, вы-

полненных ДС, использовались значения, приведенные на рис. 2, а также экспериментальные данные для размеров ФМУ, составляющих 1,0 и 1,5 см³ (табл. 2).

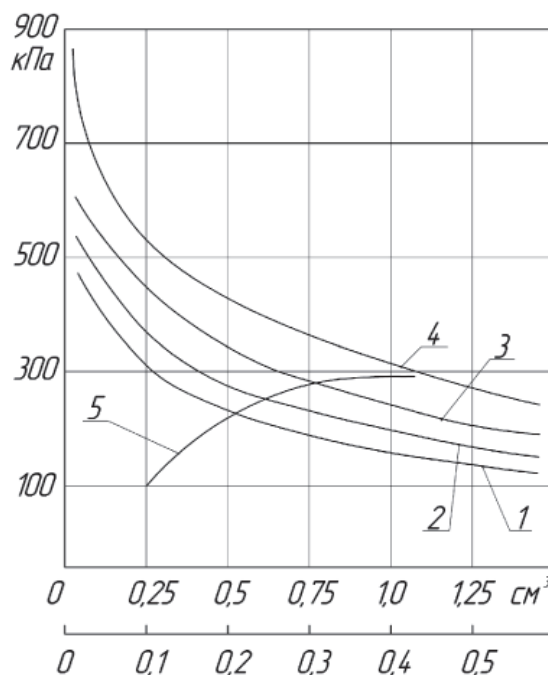


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ ферритогранатов от объема (1–4) и толщины изделий (5) при $T = 900, 1000^\circ\text{C}$:
1, 5 – 30C46 (1000°C); 2 – 30C46 (900°C);
3 – 40C44 (1000°C); 4 – 40C44 (900°C)

Таблица 1
Зависимость $\sigma_{сж}$ от объема образцов феррита 2,5 см³

$\sigma_{сж}$				
m	$V_1, \text{см}^3$	$V_2, \text{см}^3$	$y_1, \text{кПа}$	$y_2, \text{кПа}$
1,85	0,3	0,5	220	290
1,82	0,5	0,75	176	220
1,8	0,75	1,0	150	176
1,82	1,0	1,25	132	150

Таблица 2
Зависимость $\tau_{сдв}$ от размеров образцов ФМУ

$\tau_{сдв}$				
$V, \text{см}^3$	$y_1, \text{кПа}$	$y_2, \text{кПа}$	$y_3, \text{кПа}$	$y_{ср}, \text{кПа}$
1,0	452	438	406	432
1,5	397	382	361	380

По выражению (4) определялось значение модуля Вейбулла (табл. 3).

Таблица 3
Значения модуля Вейбулла

m	$\tau_{сдв}$			
	$V_1, \text{см}^3$	$V_2, \text{см}^3$	$y_1, \text{кПа}$	$y_2, \text{кПа}$
2,95	0,3	1,0	432	650
3,16	1,0	1,5	380	432

Принимая значение модуля Вейбулла для $\tau_{сдв}$ равным 3,0, рассчитывались недостающие значения $\tau_{сдв}$ для объема ФМУ – 0,5; 2,0; 2,5 см^3 и строилась графическая зависимость $\tau_{сдв}$ для объемов от 0, до 2,5 см^3 (рис. 3).

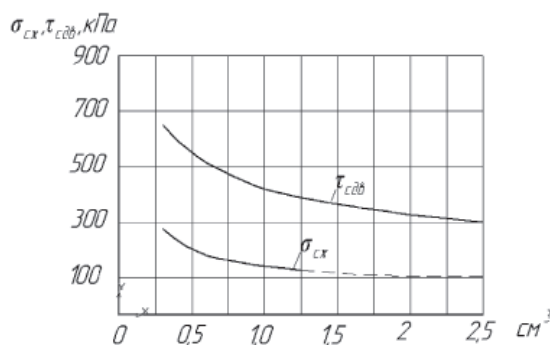


Рис. 3. Зависимость $\sigma_{сж}$ и $\tau_{сдв}$ от размеров ферритовых образцов

Полученные зависимости использовались для расчетов прочности $\tau_{сдв}$ ФМУ при проектировании технологических процессов диффузионной сварки.

Таким образом, в настоящей работе проведена оценка высокотемпературной прочности ферритовых материалов, для которых наиболее опасными являются деформации растяжения, изгиба и кручения, предел прочности при которых приблизительно в 10–20 раз ниже чем при сжатии. Используя статическую теорию прочности хрупких материалов, было установлено, что зависимость прочности ферритов от дефектов требует учета размерного фактора. Была предложена зависимость прочностных характеристик от размерного фактора, из которой видно, что прочность ферритов при всех видах испытаний снижается с увеличением объема и площади поперечного сечения образцов. Проведен статистический анализ прочности хрупких материалов и оценка вероятности их разрушения при использовании модели Вейбулла. На основании статистической модели Вейбулла построены зависимости $\sigma_{сж}$ феррита 30СЧ6 при температуре 1000 °С и $\tau_{сдв}$ для ФМУ на основе диффузионного соединения от объемов ферритовых образцов.

Выводы

1. Предложен метод прогнозирования высокотемпературной прочности деталей из ферритогранатов для процесса ДС на основе модели Вейбулла.

2. Полученные оценки справедливы для ферритовых элементов, имеющих форму пластин объемом от 0,3 до 2,5 см^3 .

Список литературы

1. Злобин В.А. Ферритовые материалы / В.А. Злобин, В.А. Андреев, Ю.С. Звороно. – Л.: Энергия, 1970. – 109 с.
2. Конюшков Г.В. Высокотемпературная прочность феррито-гранатов в условиях пайки и диффузионной сварки / Г.В. Конюшков, О.Ю. Жевалев, Л.Е. Куц, В.Г. Конюшков, Н.А. Вавилина // Антенны. – 2013. – № 7. – С. 21–23.
3. Конюшков, Г.В. Ферриты и их соединения с металлами и керамикой / Г.В. Конюшков, Б.М. Зотов, Э.И. Меркин – М.: Энергия, 1979. – 232 с.
4. Куц Л.Е. Повышение термических и механических характеристик ферритометаллических узлов электровакуумных приборов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Саратов: СГТУ, 2012. – 117 с.
5. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение: основы в прочности оптического стекла: учебное пособие, курс лекций / Н.В. Никоноров, С.К. Евстропьев – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 102 с.
6. Стабильность свойств ферритов / Р.М. Биктяков и др. – М.: Советское радио, 1974. – 352 с.

References

1. Zlobin V.A. Ferritovy materialy / V.A. Zlobin, V.A. Andreev, Ju.S. Zvorono. L.: Jenergija, 1970. 109 p.
2. Konjushkov G.V. Vysokotemperaturnaja prochnost ferrito-granatov v uslovijah pajki i diffuzionnoj svarki / G.V. Konjushkov, O.Ju. Zhevaley, L.E. Kuc, V.G. Konjushkov, N.A. Vavilina // Antenny. 2013. no. 7. pp. 21–23.
3. Konjushkov, G.V. Ferrity i ih soedineniya s metallami i keramikoj / G.V. Konjushkov, B.M. Zotov, Je.I. Merkin M.: Jenergija, 1979. 232 p.
4. Kuc L.E. Povyshenie termicheskikh i mehanicheskikh harakteristik ferritometallicheskih uzlov jelektrovakuumnyh priborov: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk Saratov: SGTU, 2012. 117 p.
5. Nikonorov, N.V. Opticheskoe materialovedenie: osnovy v prochnosti opticheskogo stekla: uchebnoe posobie, kurs lekcij / N.V. Nikonorov, S.K. Evstropjev SPb: SPbGU ITMO, 2009. 102 p.
6. Stabilnost svojstv ferritov / R.M. Biktjakov i dr. M.: Sovetskoe radio, 1974. 352 p.

Рецензенты:

Бекренев Н.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

Игнатьев А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов.

УДК 532.529

СТЕНДОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Лунев Н.А.

ООО «Техпроект-Сервис», Казань, e-mail: nlunev@yandex.ru

Рассмотрен вопрос создания стенда для моделирования газодинамических процессов в воздухоочистительных устройствах газоперекачивающих агрегатов и газотурбинных электростанций с целью снижения гидравлического сопротивления в всасывающем тракте и обеспечения необходимого качества очистки воздуха от пылевых частиц. В работе приведена технологическая схема стенда, включающая три секции, имитирующие работу воздухоочистительного устройства в условиях природной зоны лесотундра, с возможностью имитации различных условий по влажности, температуре и концентрации пыли. Представлен исследовательский стенд, изготовленный в соответствии с технологической схемой, описаны порядок проведения исследований и методика обработки результатов. Приведена конструкция изобретенного прямооточного циклона и описан ход его испытаний. В заключении дана характеристика проведенного стендового моделирования процессов двухфазной очистки в прямооточном циклоне.

Ключевые слова: газотурбинная установка, воздухоочистительное устройство, прямооточный циклон, имитационное моделирование

STAND MODELING GAS DYNAMIC PROCESSES IN CLEANING AIR DEVICE OF GAS TURBINES

Lunev N.A.

ООО «Tekhproekt-Servis», Kazan, e-mail: nlunev@yandex.ru

The question of creating a stand for the simulation of gas-dynamic processes in the cleaning air devices of gas turbine to reduce the flow resistance in the intake tract and provide the necessary quality of cleaning air from dust particles. A scheme of the stand comprising three sections, cleaning air device simulating operation in a natural zone «forest tundra», with the possibility of simulating different conditions of humidity, temperature and dust concentration. Research presented stand made in accordance with the technological scheme, described the procedure of research and data processing. Shows the design of the straight-flow cyclone invented and described the course of his trial. In conclusion, given the characteristics of the bench held a two-phase cleaning process modeling in a straight-flow cyclone.

Keywords: gas turbine power plant, cleaning air device, straight-flow cyclone, simulation

Стендовое моделирование физических процессов базируется на теории подобия и анализа размерностей. Обязательными требованиями к моделированию физических процессов считаются подобие формы и физическое подобие исследуемой модели и натурного образца, причём значения переменных параметров, определяющих явления, должны быть пропорциональны значениям тех же параметров для натуральных условий. Присутствие такого рода пропорциональности дает возможность осуществлять пересчёт экспериментальных результатов, получаемых для модели, на натурный образец методом умножения каждого получаемого параметра на определенный множитель — коэффициент подобия. Особый вид моделирования физических процессов заключается в применении устройств, объединяющих физические модели с натурными образцами. К таким устройствам относятся испытательные и имитационные стенды. В настоящее время существует значительное количество теоретических

работ [1, 6], которые посвящены исследованию физических процессов, протекающих в энергетических и авиационных газотурбинных двигателях (ГТД). В рамках указанных работ проводится большое количество экспериментов для подтверждения выдвигаемых научных гипотез и рабочих параметров ГТД, для чего используют испытательные и экспериментальные стенды разного масштаба и назначения, на которых исследуются как отдельные детали и узлы, так и двигатель в целом.

При этом для обеспечения работы двигателя используется ряд вспомогательных систем, входящих в состав газотурбинной установки (ГТУ) и оказывающих влияние на ключевые параметры ГТД, такие как его коэффициент полезного действия, надежность и т.д. [5]. В этих системах протекают взаимосвязанные процессы разной физической природы, исследование и испытания которых может проводиться как на промышленных образцах, в естественных условиях эксплуатации, так и в стендовых условиях,

с возможностью имитации различных комбинаций как условий внешней среды, так и параметров вспомогательной системы.

Так, для обеспечения ГТУ цикловым воздухом необходимого качества применяется воздухоочистительное устройство (ВОУ), при работе которого, атмосферный воздух очищается от частиц пыли и направляется на вход ГТД. При этом в условиях различных природных зон и разных климатических условий атмосферный воздух может иметь разные плотность, температуру, давление, влажность и массовую концентрацию пыли, которые оказывают влияние на эффективность работы основных элементов ВОУ. Для экспериментального исследования работы ВОУ с имитацией различных внешних условий необходимо обеспечить: подобие массового расхода воздуха, необходимого для работы газотурбинного двигателя и изменение параметров атмосферного воздуха, указанных выше. При этом, с учетом существования различных типов ВОУ [7], в состав имитационного стенда необходимо включить блоки, включающие натурные образцы инерционных пылеуловителей и накопительных воздушных фильтров. Техническое решение такого имитационного стенда представлено на рис. 1 в виде технологической схемы.

Представленное техническое решение имитационного стенда представляет собой комплекс оборудования, состоящего из трёх секций. Секция А предназначена для стендового моделирования условий раз-

личных природных зон и включает в себя три основных устройства: устройство для обеспечения концентрации пыли А2 соответствующее различным природным зонам [7], устройство для распыла или испарения воды А3 с целью повышения влажности воздуха и устройство для повышения температуры воздуха А1. Секция Б предназначена для имитации работы ВОУ любого из трёх типов [7]: инерционного, фильтрующего и инерционно-фильтрующего, что достигается за счёт монтажа или демонтажа универсальных блоков Б3 и Б5 с одинаковыми присоединительными размерами и содержащих натурные образцы воздухоочистительных устройств. Секция Б содержит ряд блоков Б2, Б4 и Б6, которые имеют возможность размещать в тракт стенда различное измерительное оборудование. Также в секцию Б входит имитатор магистрали удаления пыли Б8, присутствующий в ряде ВОУ [4]. Секция В предназначена для имитации работы газотурбинного двигателя в части создания необходимого расхода воздуха с учетом коэффициента подобия.

Одним из вариантов реализации представленного технического решения являлся стенд, разработанный при участии автора и изготовленный в 2005 г. (рис. 2), который в ходе проведенных на нём экспериментов подвергался доводке и доработке. Стенд функционирует до настоящего времени, что позволило исследовать новые воздухоочистительные устройства и их компоненты.

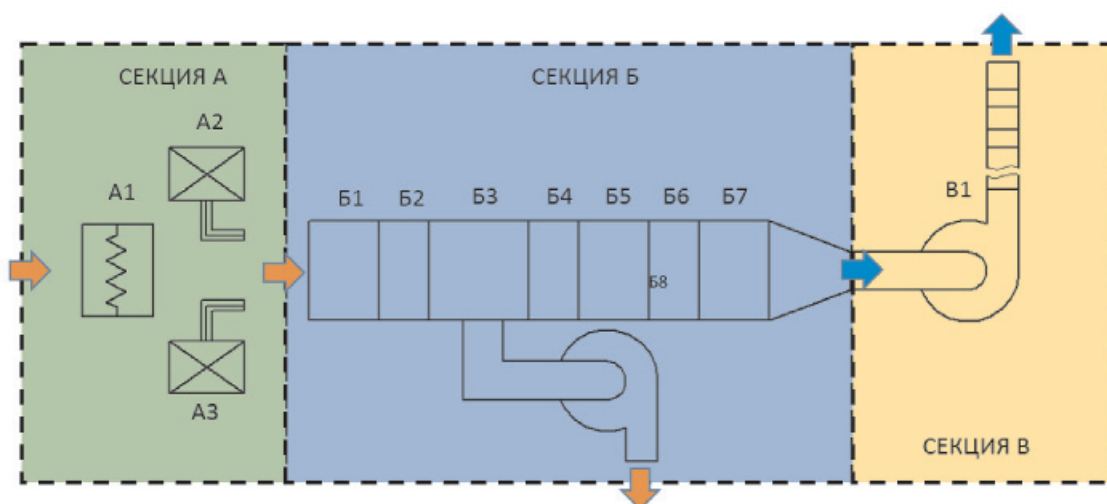


Рис. 1. Технологическая схема испытательного стенда:

А1 – устройство для повышения температуры воздуха; А2 – устройство для обеспечения концентрации пыли; А3 – устройство для распыла или испарения воды;

Секция Б: Б1 – блок подготовки воздуха; Б2, Б4, Б6 – типовые блоки для размещения измерительного оборудования; Б3, Б5 – универсальные блоки для размещения натурных образцов воздухоочистительных устройств; Б7 – блок для отвода очищенного воздуха; Б8 – канал для удаления пыли; В1 – вентилятор для имитации работы газотурбинного двигателя



Рис. 2. Стенд имитации ВОУ

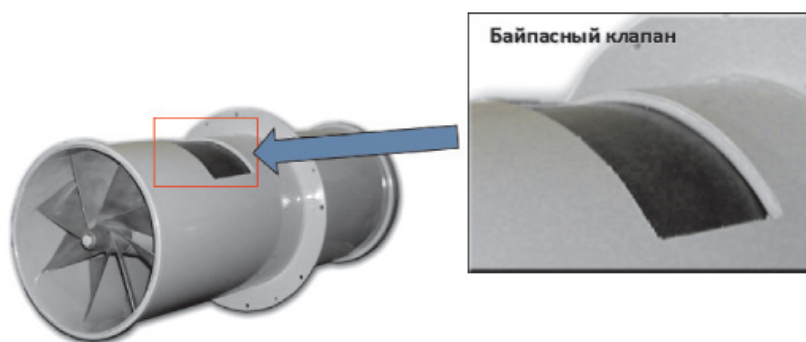


Рис. 3. Прямоточный циклон с байпасным клапаном

В целом представленное техническое решение представляет собой аэродинамическую трубу открытого типа, предназначенную для стендового моделирования и исследования основных физических процессов, протекающих в ВОУ стационарных ГТУ, например, таких как процесс двухфазного течения запыленного воздуха в устройствах инерционной сепарации пыли, процесс улавливания пыли в фильтрующих материалах, процессы образования и удаления инея на фильтрующих элементах и др. Так, с применением указанного стенда при участии автора был изобретен и запатентован [2, 3] прямоточный циклон с байпасным клапаном (рис. 3), устанавливаемым в циклон для дополнительной подачи воздуха в случае засорения основного входа.

Рассмотрим проведенное исследование процесса очистки в указанном прямоточном циклоне с байпасным клапаном при имитации ГПА эксплуатируемого в условиях лесотундры. Для проведения исследования с целью определения гидравлического сопротивления и эффективности

очистки была выполнена имитация следующих специфических для указанного случая условий: массовая концентрация пыли на входе в стенд $C_{\text{вх}} = 0,12 \text{ мг/м}^3$, расход очищенного воздуха через один прямоточный циклон $G_{\text{ц}}$ в диапазоне от 0,2 до 0,8 кг/с и расход воздуха через канал удаления пыли $G_{\text{отс}} = 0,1 G_{\text{ц}}$.

Подача пыли осуществлялась в секции 1 стенда при помощи специализированного устройства, в которое загружалась кварцевая пыль по ГОСТ 8002–74. При помощи сжатого воздуха и встроенного вентилятора, на выходе из устройства, создавалась струя запыленного воздуха, которая постоянно перемешивалась с окружающим воздухом. В конструкции устройства были предусмотрены регулирующие краны, за счёт которых задавалась концентрация пыли в блоке Б1. Измерение получаемой массовой концентрации пыли осуществлялось при помощи лазерного или фотоэлектрического счётчика частиц, с забором проб в блоке Б2.

Настройка и измерение расхода воздуха осуществлялись в секции 3 при помощи

заслонки и диафрагмы, установленных за центробежным вентилятором В1. Настройка и измерение расхода воздуха, попадающего в канал удаления пыли, производились за вентилятором В9. В блок Б3 устанавливались исследуемые образцы прямооточного циклона, а в блоках Б2 и Б4 – гребенки приёмников полного и статического давления и трубки для осуществления забора проб запыленного воздуха.

При включении вентилятора В1 создавалось разрежение воздуха и в стенд поступал подготовленный в устройстве А2 и блоке Б1 запыленный воздух с необходимой концентрацией пыли, который пропусклся через натурные образцы исследованного прямооточного циклона в блоке Б3, где и производилась инерционная очистка.

При проведении исследований фиксировались и обрабатывались следующие параметры двухфазного потока:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{изм}} \cdot \frac{288,15}{T_{\text{изм}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{пр}}$ – приведенная температура, К; $T_{\text{изм}}$ – измеренная температура, К;

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{изм}} \cdot \frac{760}{P_{\text{изм}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{пр}}$ – приведенное давление, мм рт. ст.; $P_{\text{изм}}$ – измеренное давление, мм рт. ст.

Массовый расход воздуха $G_{\text{осн}}$ через основной воздушный канал определялся при помощи стандартной диафрагмы:

$$G_{\text{осн}} = 1,9724 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{P_{\text{осн}} \cdot \Delta p_{\text{осн}}}{t_{\text{осн}} + 273,15}}, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

где $p_{\text{осн}}$ – абсолютное давление перед диафрагмой; $\Delta p_{\text{осн}}$ – перепад давления на диафрагме, $t_{\text{осн}}$ – температура воздуха перед диафрагмой, °С.

При этом

$$p_{\text{осн}} = p_{\text{осн.изб}} + P_{\text{изм}} \cdot 133,32, \text{ Па}, \quad (4)$$

где $p_{\text{осн.изб}}$ – избыточное давление перед диафрагмой.

Массовый расход $G_{\text{отб}}$ через канал удаления пыли определялся также при помощи стандартной диафрагмы:

$$G_{\text{отб}} = 0,2899 \sqrt{\frac{P_{\text{отб}} \cdot \Delta p_{\text{отб}}}{t_{\text{отб}} + 273,15}}, \text{ кг/с}, \quad (5)$$

где $p_{\text{отб}}$ – абсолютное давление перед диафрагмой; $\Delta p_{\text{отб}}$ – перепад давления на диафрагме, $t_{\text{отб}}$ – температура воздуха перед диафрагмой, °С.

При этом

$$p_{\text{отб}} = p_{\text{отб.изб}} + P_{\text{изм}} \cdot 133,22, \text{ Па}. \quad (6)$$

Гидравлическое сопротивление циклона $\Delta p_{\text{ц}}^*$ при различных расходах $G_{\text{осн}}$ определялось как разность между значением давления после блока циклона и перед ним:

$$\Delta p_{\text{ц}}^* = \overline{p_{\text{Б4}}^*} - \overline{p_{\text{Б2}}^*}, \quad (7)$$

где $\overline{p_{\text{Б4}}^*}$ и $\overline{p_{\text{Б2}}^*}$ – средние значения давлений в соответствующих блоках тракта стенда.

Далее на основании полученных значений $\Delta p_{\text{ц}}^*$ при различных расходах воздуха строился график зависимости $\Delta p_{\text{ц}}^* = f(G_{\text{ц}})$, а эффективность очистки циклона определялась путём измерения массовой концентрации частиц $E_{\text{ц}}$ в блоках до циклона $C_{\text{вх}}$ и после него $C_{\text{ц}}$:

$$E_{\text{ц}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{ц}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Для снижения погрешности определения каждого параметра его измерение проводилось не менее 7 раз.

Испытания на надежность срабатывания байпасного клапана проводились при помощи специального регулирующего устройства (рис. 4), которое устанавливалось на циклон. При этом моделировалось влияние перекрытия входа на перепад полного давления воздуха $\Delta p_{\text{ц}}^*$, для чего площадь входа перекрывалась в диапазоне от 50 до 100 % с шагом 5 %.

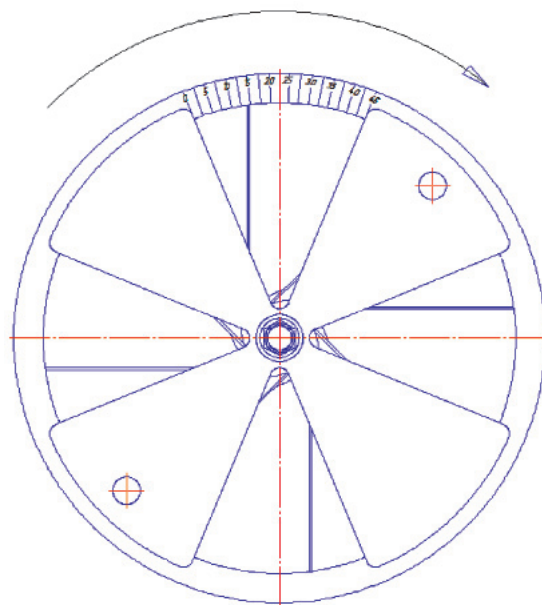


Рис. 4. Устройство для перекрытия входа в циклон

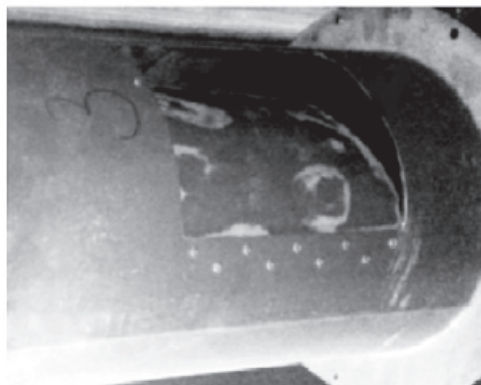


Рис. 5. Байпасный клапан прямооточного циклона

Срабатывание байпасного клапана (рис. 5) происходило сразу при запуске вентилятора В1. При уменьшении площади поперечного сечения входа клапан открывался шире, ширина открытия L увеличивалась, после чего обеспечивался дополнительный подвод воздуха. Проведенный эксперимент позволяет оценить зависимость гидравлического сопротивления прямооточного циклона $\Delta p_{\text{ц}}$ от ширины открытия байпасного клапана L и степени перекрытия входа в циклон и смоделировать работу байпасного клапана в условиях засорения входа в циклон.

Таким образом, моделируя на специализированном стенде работу прямооточных циклонов в составе ГТУ в природной зоне лесотундры, мы можем определить основные параметры исследуемых конструкций прямооточного циклона. При этом стендовое моделирование засорения входа в циклон, при помощи дополнительных приспособлений, позволяет проверить срабатывание байпасного клапана и оценить его влияние на гидравлическое сопротивление циклона.

Список литературы

1. Абдулбасет О.А., Ильников А.В., Шукин А.В. Теплогидравлические характеристики криволинейного канала со сферическими выступами на вогнутой поверхности // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2005. – № 4. – С. 78–79.
2. Кесель Б.А., Воскобойников Д.В., Лунев Н.А. Прямоточный циклон. Патент России № 2240868, Бюл. № 33 от 27.11.2004 г.
3. Кесель Б.А., Понькин В.Н., Воскобойников Д.В., Лунев Н.А. Прямоточный циклон. Патент России № 2361677, Бюл. № 20 от 20.07.2009 г.
4. Лунев Н.А. Расчетно-экспериментальное исследование вопросов предварительной очистки циклового воздуха для стационарных газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 4. – С. 21–28.
5. Понькин В.Н., Жильцов Е.И., Кесель Б.А., Корноухов А.А. Комплекс технических решений по повышению эффективности ГПА // Газотурбинные технологии. – 2009. – № 2. – С. 18–22.

6. Саттаров А.Г., Лунев А.Н., Семенова С.Г., Хафизов И.Г., Шабалин И.Н. Воспламенение топливной смеси «метан + воздух» лазерным оптическим разрядом // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 16. – С. 187–190.

7. СТО Газпром 2-2.1-226-2008. Технические требования к воздухоочистительным устройствам газоперекачивающих агрегатов. – М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности», 2008. – 27 с.

References

1. Abdulbasat O.A., Ilinkov A.V., Shhukin A.V. Teplogidravlicheskie harakteristiki krivolinejnogo kanala so sfericheskimi vystupami na vognutoj poverhnosti. Izv. VUZ. Aviatcionnaya Tekhnika, 2005, no. 4, pp. 78–79.
2. Kesel B.A., Voskobojnikov D.V., Lunev N.A. Prjamotochnyj ciklon. Patent of Russian Federation no. 2240868. 27.11.2004, Bulletin no. 33.
3. Kesel B.A., Ponkin V.N., Voskobojnikov D.V., Lunev N.A. Prjamotochnyj ciklon. Patent of Russian Federation no. 2361677. 20.07.2009, Bulletin no. 33.
4. Lunev N.A. Raschetno-jeksperimentalnoe issledovanie voprosov predvaritelnoj oчитки ciklovogo vozduха dlya stacionarnyh gazoturbinnih ustanovok. Vestnik Kazan State Technical University A.N. Tupolev. 2010. no 4. pp. 21–28.
5. Ponkin V.N., Zhilcov E.I., Kesel B.A., Kornouhov A.A. Kompleks tehnikeskikh reshenij po povыsheniju jeffektivnosti GPA. Gazoturbinnye tehnologii. 2009. no. 2. pp. 18–22.
6. Sattarov A.G., Lunev A.N., Semenova S.G., Hafizov I.G., Shabalin I.N. Vosplamnenie toplivnoj smesi «metan + vozduх» lazernym opticheskim razrjadom. Vestnik Kazan State Technical University A.N. Tupolev. 2014. vol. 17, no. 16. pp. 187–190.
7. STO Gazprom 2-2.1-226-2008. Tehnicheskie trebovaniya k vozduхooчитitel'nyм ustrojstvam gazoperekachivajushhih agregatov. Moskow. ООО «Informacionno-reklamnyj centr gazovoj promyshlennosti», 2008. 27 p.

Рецензенты:

Шукин А.В., д.т.н., профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань;

Михеев Н.И., д.т.н., профессор кафедры реактивных двигателей и энергетических установок, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань.

УДК 629.039.58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЯДА ОПАСНОСТЕЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ПУНКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДОВ

Минацевич С.Ф., Борисов С.С.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: b.f.g.86@mail.ru

В статье показана важность надежной и бесперебойной работы необслуживаемых пунктов технологической связи в контексте общей безопасности транспортировки нефте- и газопродуктов. Приведено понятие технологической связи на нефте- и газопроводах и структура типового участка. Произведен анализ необслуживаемого пункта технологической связи как объекта, выделены его основные функции и особенности, приведена подробная структурная схема. Определен набор критериев, по которым выделяются характерные для необслуживаемых пунктов технологической связи нефте- и газопроводов опасности. Приведена общая классификация опасностей, источников опасностей и поражающих факторов. Показана разработанная система степеней безопасности для необслуживаемых пунктов связи. Выбрана соответствующая степень безопасности для необслуживаемых пунктов технологической связи нефте- и газопроводов. Определен ряд опасностей, характерных для необслуживаемых пунктов технологической связи нефте- и газопроводов.

Ключевые слова: опасность, факторы опасности, технологическая связь, необслуживаемый пункт связи

DETERMINE SERIES OF SPECIFIC DANGERS FOR UNATTENDED POINTS OF TECHNOLOGICAL COMMUNICATION OIL AND GAS PIPELINES

Minatsevich S.F., Borisov S.S.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: b.f.g.86@mail.ru

In the article we have shown the importance of reliable and uninterrupted work of unattended points of technological communication in the context of the overall security of transportation of oil and gas. The authors presented concept of technological communication on oil and gas pipelines and the structure of a typical unit. We made analysis the unattended point the technological communication as an object, have identified the basic functions and features and have presented a detailed block diagram. We defined a set of criteria which distinguish the specific dangers for unattended points of technological communication oil and gas pipelines. The authors presented a general classification of dangers, sources of dangers and damaging factors. We have shown the developed system degree of security for unattended points of technological communication. The authors chose the appropriate level of security for unattended points of technological communication oil and gas pipelines. We determined series of specific dangers for unattended points of technological communication oil and gas pipelines.

Keywords: danger, source danger, technological communication, unattended points of communication

В России крупнейшая в мире система магистральных нефтепроводов и одна из крупнейших систем газопроводов. Безопасность и надежность транспортировки газа и нефти является одной из важнейших задач. Для контроля состояния трубопроводов используются различные системы телемеханики, связь с которыми осуществляется посредством линий специализированной технологической связи, физически пролегающей недалеко от трубопровода. Надежность технологической связи непосредственно влияет на надежность транспортировки – обрыв связи, то есть отсутствие данных о состоянии трубопровода в реальном времени, характеризуется как авария и подлежит немедленному устранению.

Структура типового участка технологической связи представлена на рис. 1.

Если рассматривать технологическую связь как последовательную систему, для которой отказ любого компонента приводит

к отказу системы в целом, то можно сказать, что надежность технологической связи определяется надежностью слабейшего элемента.

Для технологической связи наиболее уязвимым звеном являются необслуживаемые пункты связи. Это обусловлено тем, что:

а) необслуживаемые регенерационные пункты изначально проектируются для функционирования в автоматическом режиме в жестких климатических условиях;

б) надежность канала передачи данных априорно выше надежности любых других компонентов системы передачи данных;

в) контроль надежности и безопасности функционирования обслуживаемых пунктов осуществляется за счет технического персонала.

Таким образом, появляется проблема контроля надежности и безопасности функционирования необслуживаемых пунктов технологической связи. Для решения этого вопроса должны применяться системы

контроля безопасности и надежности, специально спроектированные для сферы технологической связи нефте- и газопроводов. Для построения таких систем важнейшим этапом является определение характерных факторов опасности.

– аппаратура на НПТС не предназначена для эксплуатации в жестких климатических условиях;

– аппаратура на НПТС поставляется не в вандалоустойчивых исполнениях.

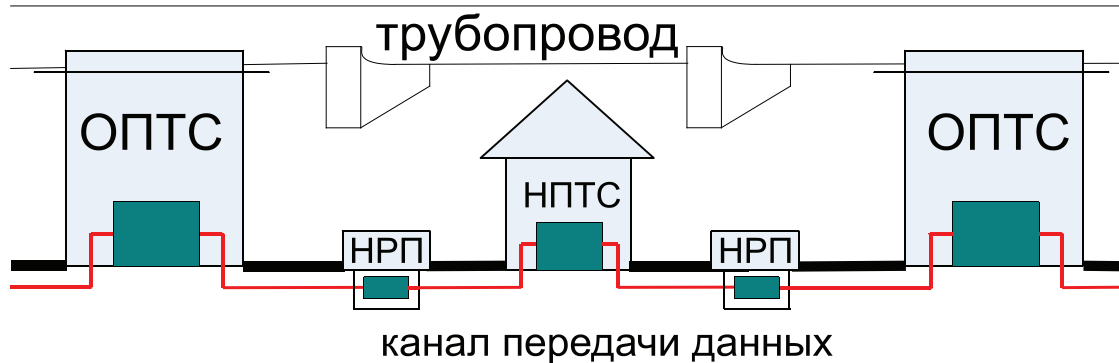


Рис. 1. Структура типового участка технологической связи:

ОПТС – обслуживаемый пункт технологической связи – сооружение связи, в котором устанавливается оборудование систем передачи данных. Персонал находится круглосуточно;

НПТС – необслуживаемый пункт технологической связи – сооружение связи, в котором устанавливается оборудование систем передачи данных. Персонал отсутствует, работает в автоматическом режиме либо управляется удаленно;

НРП – необслуживаемый регенерационный пункт – сооружение связи, в котором осуществляется регенерация сигнала;

канал передачи данных – физическая среда, через которую происходит передача данных

Анализ НПТС как объекта

Необслуживаемый пункт технологической связи нефте- и газопроводов – это специально оборудованное и оснащенное техническими средствами помещение, из которого в автоматическом либо удаленном режиме осуществляется управление системой технологической связи нефте- либо газопровода.

Структура НПТС в разрезе устанавливаемой аппаратуры показана на рис. 2.

Основными функциями НПТС являются:

- осуществление непосредственно функции связи;
- контроль качества связи;
- принятие мер для исправления обнаруженных дефектов связи;
- запуск необходимых регламентных работ;
- поддержка служебной связи с ближайшим ОПТС.

Основными особенностями НПТС являются:

- во многих случаях значительная удаленность от населенных пунктов;
- во многих случаях значительная труднодоступность;
- возможность, при необходимости, нахождения и полноценной работы, в том числе и длительной, в помещении станции специалистов;

Опасности и НПТС

Опасность – возможность возникновения обстоятельств, при которых материя, поле, энергия, информация или их сочетание могут таким образом повлиять на сложную систему, что приведет к ухудшению или невозможности ее функционирования и развития [3].

Источник опасности – материальный объект, процесс, явление, обладающие энергией различной природы, которая, соответственно, может вызвать угрозу опасности.

Поражающий фактор – это фактор среды, который при определенных условиях наносит ущерб, как людям, так и системам жизнеобеспечения, наносит материальный ущерб [5].

Для построения эффективной и надежной системы контроля безопасности необходимо:

- 1) определить степень безопасности объекта;
- 2) установить характерные, значимые и имеющие возможность контроля поражающих факторов опасности;
- 3) расставить приоритеты среди источников опасности.

Говоря иными словами, необходимо определить – что необходимо контролировать, от чего защищать, сколько ресурсов необходимо для системы контроля безопасности и надежности и как эти ресурсы правильно распределить.

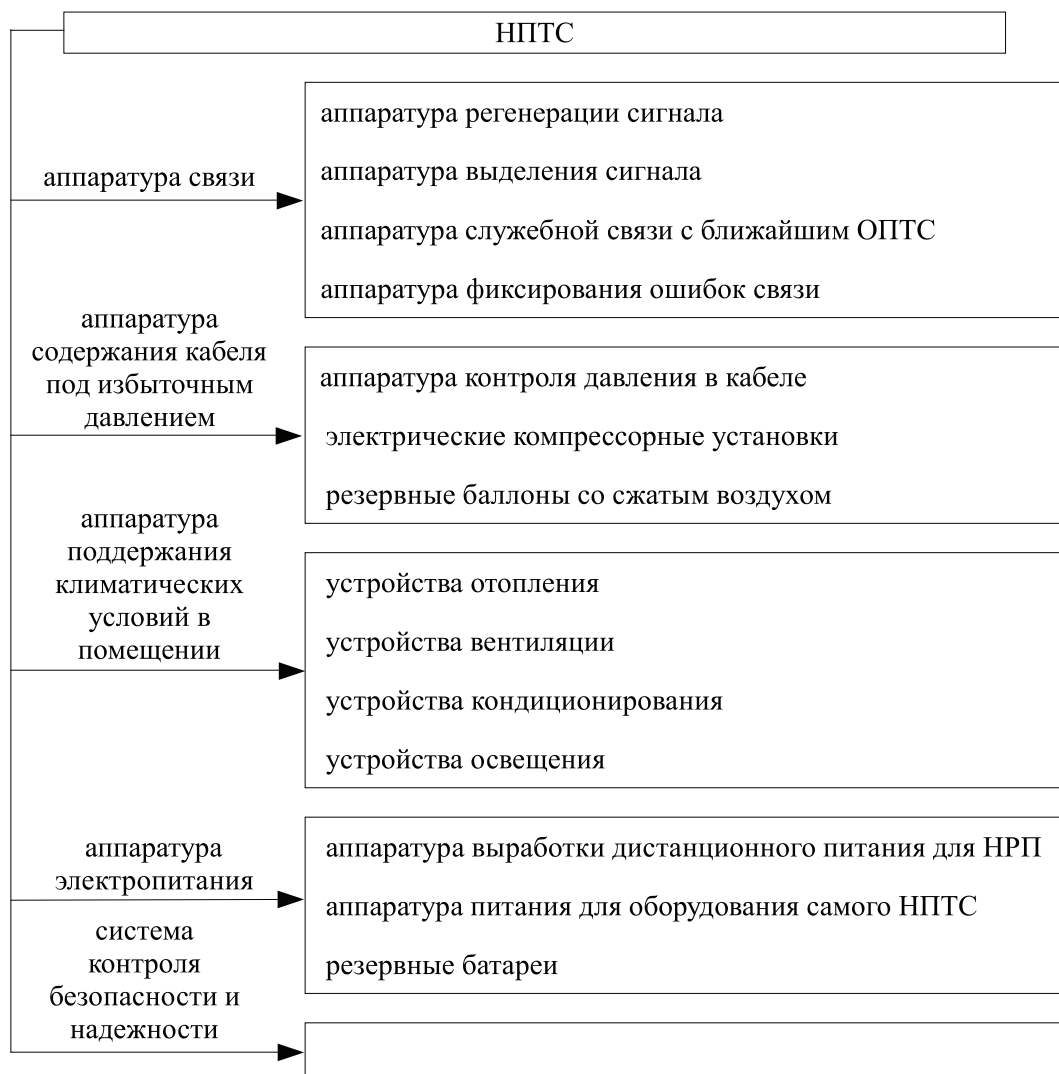


Рис. 2. Структура НПТС

Понятие степени безопасности подразумевает, насколько будет защищен объект. Согласно аксиоме о потенциальной опасности – «любая деятельность потенциально опасна» – невозможно защитить объект абсолютно, поэтому необходимо определить ту границу, на которой мы считаем степень безопасности объекта достаточной. Чем выше степень безопасности, тем выше затрачиваемые ресурсы. Под ресурсами здесь понимаются как человеческие при разработке и поддержке системы контроля безопасности в работоспособном состоянии, так и собственно потребляемые самой системой контроля безопасности при работе. Понятие степени безопасности для некоторых сфер нормировано (например, бронежилет как индивидуальная система безопасности нормируется по [1], электрооборудование по опасному фактору проникновения твер-

дых предметов и воды в корпус по [2]), для некоторых нет.

Понятие характерных источников опасностей следует из области применения системы контроля безопасности. То есть, для примера, психофизические источники опасности (дискомфорт, усталость) абсолютно нехарактерны для полностью автоматических систем и, соответственно, не учитываются при построении систем контроля безопасности и надежности в данной области.

Понятие значимого источника опасности связано с тем, что характерных источников опасности может быть весьма много, а ресурсы системы контроля безопасности и надежности в абсолютном большинстве случаев ограничены, из чего следует вынужденное признание некоторых источников опасности незначимыми. Критерием

для этого является низкая (ниже определенного порога) вероятность создания опасной ситуации для данного источника опасности. Порог определяется степенью безопасности для данного объекта.

Понятие возможности контроля поражающих факторов определяет – входит ли контроль поражающего фактора в пределы возможностей планируемой системы контроля безопасности. Например, возникновение эпидемии гриппа среди персонала парикмахерской из-за контактов с посетителями (источник опасности) является возможным и даже вероятным, но в силу значительных практических сложностей при обнаружении вирусов гриппа (контроль поражающего фактора) типовые системы контроля безопасности и надежности его не учитывают, то есть контроль де-факто признан невозможным.

Понятие приоритетов среди источников опасности следует из факта ограниченности ресурсов системы контроля безопасности и надежности. Так, некоторым источникам опасности из-за повышенной вероятности возникновения опасной ситуации следует уделять повышенное внимание и, следовательно, большее количество ресурсов системы (большой приоритет), то другим, соответственно, меньшее количество ресурсов (меньший приоритет).

Классификация опасностей

Согласно [6] факторы опасности классифицируются как:

- природные (землетрясения, опасные растения, животные и др.);
- техногенные (техногенные взрывы, пожары, облучения и др.);
- социальные (бродяжничество, вандализм, преступность и др.);
- политические (политический терроризм, вооруженные конфликты и др.);
- комбинированные:
 - а) природно-техногенные (парниковый эффект, кислотные дожди, смог и др.);
 - б) природно-социальные (наркомания, эпидемии инфекционных заболеваний и др.);
 - в) социально-техногенные опасности (травматизм, токсикомания, проф. заболевания и др.).

Классификация источников опасности

Согласно [4] источники опасности подразделяются на:

- внешние. Состоят из двух типов явлений: состояние среды деятельности (для технических систем) и ошибочных, непредвиденных действий персонала, приводящих к авариям;

– внутренние. Обусловлены виктимностью – личными особенностями субъекта, которые связаны с его социальными и психологическими свойствами (субъективный аспект опасности).

Классификация поражающих факторов

Согласно [5] поражающие факторы по происхождению классифицируются:

- физические (ударная воздушная волна, ионизирующее излучение и др.);
- химические (вещества, негативно воздействующие на людей, фауну, флору);
- биологические (животные, растения, микроорганизмы и др.);
- социальные (возбужденная толпа людей);
- психофизиологические (физические и эмоциональные перегрузки, монотонность труда).

Система степеней безопасности для необслуживаемых пунктов связи

Для необслуживаемых пунктов технологической связи нет утвержденной системы степеней безопасности. В связи с этим предлагается следующая система:

- 1 класс безопасности (наивысший).

Согласно вышеприведенной классификации опасностей система безопасности должна контролировать соответствующие поражающие факторы природных, природно-техногенных, техногенных и социальных опасностей.

Характерен для систем безопасности необслуживаемых пунктов правительственной и военной связи, когда надежность и безотказность связи является высшим приоритетом. Для достижения такого уровня безопасности требуется значительное количество ресурсов, времени и средств.

- 2 класс безопасности (средний).

Контролю подлежат соответствующие поражающие факторы техногенных и социальных опасностей.

Характерен в частности для необслуживаемых пунктов технологической связи нефте- и газопроводов, когда надежность и безотказность связи является важнейшим фактором, но во внимание принимается также и фактор средств, затрачиваемых на систему контроля безопасности, то есть является, по сути, компромиссом этих двух факторов.

- 3 класс безопасности (низший).

Контролю подлежат соответствующие поражающие факторы социальных опасностей.

Характерен для необслуживаемых пунктов связи на временно развернутых линиях.

Для всех трех классов не учитываются социально-техногенные и природно-социальные опасности, так как пункт технологической связи является необслуживаемым.

Определение степени безопасности

Согласно вышеописанной системе степеней безопасности для необслуживаемых пунктов связи, для НПТС характерен 2 класс безопасности.

Характерные, значимые и имеющие возможность контроля поражающих факторов опасности

С учетом пункта «Анализ НПТС как объекта» выдвигаются следующие характерные опасности:

– техногенного характера: пожар, обледенение, критическое для аппаратуры связи повышение влажности, взрыв баллона со сжатым воздухом, обрушение помещения, затопление помещения, поломка аппаратуры связи, значительное снижение качества связи, прекращение электропитания;

– социального характера: бродяжничество, хищения.

Из вышеприведенного списка незначимой признается опасность обрушения помещения в связи с низкой вероятностью.

Не имеющей возможности контроля для системы контроля безопасности признается внезапная поломка аппаратуры связи.

Таким образом, список поражающих факторов, которые должна контролировать система безопасности НПТС, в порядке понижения приоритета выглядит следующим образом:

- качество связи;
- электрический ток;
- электрическое напряжение;
- температура;
- влажность;
- несанкционированное проникновение;
- давление в баллонах сжатого воздуха.

Заключение

В статье была рассмотрена значимость необслуживаемых пунктов технологической связи в контексте общей безопасности и надежности транспортировки нефте- и газопродуктов, произведен анализ НПТС как объекта, выведены критерии построения эффективной и надежной системы контроля безопасности для НПТС, разработана система степеней безопасности для НПТС, приведены общие классификации опасностей, источников опасностей и поражающих факторов и выведены характерные для НПТС, значимые и име-

ющие возможность контроля поражающих факторов опасности.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50744–95. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. – М: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.
2. ГОСТ 14254–96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). – Взамен ГОСТ 14254 – 80; введ. 1997 – 01 – 01. – Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М: Изд-во стандартов, 2002. – 32 с.
3. Заплатинский В.М. Терминология науки о безопасности // Zbornik prispevkov z mednarodnej vedeckej konferencie «Bezpečnostna veda a bezpečnostne vzdelanie». – Liptovsky Mikulas: AOS v Liptovskom Mikulasi, 2006. – С. 12. – (CD nosic) – ISBN 80-8040-302-3.
4. Надежность технических систем и техногенный риск / В.Л.Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов и др. – М.: Деловой Экспресс, 2002. – С. 32.
5. Овчаров А.В. Конспект лекций по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». – Харьков: ХНАМГ, 2008 – С. 19.
6. Овчаров А.В. Конспект лекций по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». – Харьков: ХНАМГ, 2008 – С. 17–18.

References

1. GOST R 50744–95. Broneodezhda. Klassifikatsiya i obshchie tekhnicheskie trebovaniya. M: Izd-vo standartov, 2003. 6 p.
2. GOST 14254–96. Stepeni zaschity, obespechivaemye obolochkami (kod IP). Vzamen GOST 14254 80; vved. 1997 01 01. Minsk: Mezghos. Sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii. M: Izd-vo standartov, 2002. 32 p.
3. Zaplatinskiy V.M. Terminologiya nauki o bezopasnosti // Zbornik prispevkov z mednarodnej vedeckej konferencie «Bezpečnostna veda a bezpečnostne vzdelanie». Liptovsky Mikulas: AOS v Liptovskom Mikulasi, 2006. pp. 12. (CD nosic) ISBN 80-8040-302-3.
4. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk / Akimov V.L., Lapin V.L., Popov V.M. i dr. M.: Delovoy Ekspress, 2002. pp. 32.
5. Ovcharov A.V. Konspekt lektsiy po distsipline «Bezopasnost zhiznedejatelnosti». Kharkov: KhNAMG, 2008 pp. 19.
6. Ovcharov A.V. Konspekt lektsiy po distsipline «Bezopasnost zhiznedejatelnosti». Kharkov: KhNAMG, 2008 pp. 17–18.

Рецензенты:

Цветков Г.А., д.т.н., профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Колмогоров Г.Л., д.т.н., профессор кафедры «Динамика и прочность машин», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

УДК 538.951: 539.4:620.17

ЗАМЕДЛЕННОЕ И АКТИВНОЕ ЛОКАЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ СТАЛИ В ВОДОРОДСОДЕРЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Мишин В.М., Волоконский М.В.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск,
e-mail: mishinvn@yandex.ru, misha_volokonski@mail.ru

Целью работы являлось изучение локального процесса зарождения и развития трещины порошковой стали, содержащей мартенситную составляющую, в водородсодержащих средах при замедленном и активном разрушении. Основой методики является использование метода математического моделирования напряженного состояния (метод конечных элементов) образцов с концентраторами напряжений для определения локальных напряжений в месте зарождения трещины. Впервые обнаружено явление замедленного хрупкого разрушения спеченных порошковых сталей в водородсодержащих средах и изучены его механизмы. Установлено, что порошковые стали, имеющие мартенситную составляющую, проявляют склонность к замедленному хрупкому разрушению, вызванному водородом, которое протекает, как и для других мартенситных сталей, в три стадии. С ростом пористости величины критического локального напряжения при активном разрушении и порогового локального растягивающего напряжения при замедленном разрушении, вызванном водородом, линейно снижаются, причем коэффициенты линейности для этих кривых одинаковы. Это связано с уменьшением «живого» сечения материала при увеличении пористости. Одинаковую разность локальных напряжений связывали с тем, что она не зависит от пористости и представляет собой избыточное давление водорода, молизирующегося в порах, т.е. $\Delta\sigma \approx P_{H_2}$. Установлено, что водородное охрупчивание порошковой стали протекает по механизму избыточного давления газообразного водорода. Влияние пористости на сопротивление материала распространению трещины имеет аналогичную тенденцию. С увеличением пористости вязкость разрушения K_{Ic} при активном нагружении и пороговый коэффициент интенсивности напряжений K_{Ith}^H снижаются с одинаковыми коэффициентами линейности. Это связывали с равным для каждой пористости уменьшением энергетических затрат при слиянии пор с фронтом растущей трещины.

Ключевые слова: порошковая сталь, мартенсит, локальная прочность, локальное напряжение, вязкость разрушения, замедленное разрушение, пороговое локальное напряжение, пороговый коэффициент интенсивности напряжений

DELAYED AND ACTIVE LOCAL FRACTURE POWDER STEEL IN A HYDROGEN CONTAINING MEDIUM

Mishin V.M., Volokonskiy M.V.

North-Caucasus Federal University, Pjatigorsk,
e-mail: mishinvn@yandex.ru misha_volokonski@mail.ru

The aim of the work was to study the local process of nucleation and growth of the crack powder steel containing martensite component in hydrogen environments with slow and active destruction. The basis of the technique is the use of the method of mathematical modeling of the stress state (finite element method) specimens with stress concentrators to determine the local stresses in the crack initiation site. For the first time the phenomenon of delayed brittle fracture of sintered powder steels in hydrogen environments and studied its mechanisms. Found that powdered steel, having a martensitic component, exhibit a delayed tendency to brittle fracture caused by hydrogen which occurs as other martensitic steels in three stages. With increasing porosity of the critical local stress the active destruction and the threshold of the local tensile stress in slow destruction caused by hydrogen, straight down, and the coefficients of linearity for these curves are the same. This is due to a decrease in «live» material section with increasing porosity. Equally the local stress difference associated with the fact that it does not depend on the porosity and a hydrogen overpressure, Molise pores, i.e. it was established that hydrogen embrittlement of steel powder proceeds according overpressure of hydrogen gas. Influence of porosity on the resistance of the material crack propagation has a similar trend. With increasing porosity, fracture toughness and active loading threshold stress intensity factor, are reduced with the same linear coefficients. This is attributed to the same for each porosity decrease energy costs since the merger with the front of a growing crack.

Keywords: powder steel, martensite, local strength, local stress, fracture toughness, delayed fracture, local threshold voltage, the threshold stress intensity factor

Детали, изготовленные из порошковых сталей, как правило, не испытывают высоких нагрузок при эксплуатации. Однако расширение областей использования деталей из порошковых сталей ставит задачу изучения воздействия внешних факторов на процесс их разрушения. Известно, что воз-

действие водорода из окружающей среды в значительной степени охрупчивает мартенситные стали и приводит к их замедленному разрушению [3, 4, 5].

Полагали, что и порошковые стали, имеющие мартенситную составляющую, будут проявлять склонность к замедленному

разрушению в водородсодержащих средах при малых внешних нагрузках аналогично мартенситным сталям [5, 8, 9, 11]. Считали, что подход, основанный на использовании критериев локального разрушения [2, 3, 4], позволит установить связь характеристик сопротивления зарождению и развитию трещины с параметрами, характеризующими структуру порошковой стали при длительном статическом нагружении в условиях наводороживания.

Целью работы являлось изучение возможности реализации замедленного разрушения как локального процесса зарождения и развития трещины порошковой стали, содержащей мартенситную составляющую, в водородсодержащих средах.

Материалы и методика эксперимента

Исследования проводили на среднелегированной стали, полученной в результате спекания частично легированного порошка марки ПЖН4Д2М [6, 7]. Микроструктура спеченных сталей представляет собой смесь упрочняющих составляющих (бейнита и мартенсита), окруженных пластичным и вязким остаточным аустенитом, расположенным в основном в области межчастичных границ (рис. 1). По данным рентгеноструктурного анализа (РСА) доля остаточного аустенита составляет 5–8 %. По данным металлографического анализа, РСМА и Оже-спектроскопии значительное влияние на структурообразование в стали из частично легированного порошка оказывает концентрация никеля, которая изменяется в широких пределах (от 0 до 30 %) вследствие незавершенности диффузионных процессов при спекании. При охлаждении после спекания микрообъемы исследуемой стали 45Н4Д2М, содержащие более 8 % Ni, не претерпевают фазовых превращений и остаются в виде твердого раствора переменного состава с Н – 2000–3200 (8–30 % Ni, 2–5 % Cu, менее 12 % Mo, и менее 0,2 % C). Понижение концентрации никеля менее 8 % обуславливает мартенситное превращение с Н – 4800–5000, а менее 2 % бейнитное превращение Н – 3700–4200.

Содержание молибдена, меди и углерода в мартенсите и бейните соответственно менее 6; 0,5–2 и 0,2–0,5 %. При этом наблюдается совпадение характера распределения никеля, меди и молибдена. Температура аустенитизации составляла 850 °С. Закалку с целью предотвращения растрескивания, проводили в масло. Температура отпуска составила 600 °С.

Исследование свойств материала (45Н4Д2М), полученного на основе частично легированного порошка, проводилось на стандартных призматических образцах с острым надрезом и цилиндрических образцах диаметром 5 мм. Испытания призматических образцов Шарпи с надрезами и наведенными усталостными трещинами и с различной пористостью (9,8; 16,1; 18,0 и 21,0 %) проводили на универсальной испытательной машине «INSTRON». Образцы нагружали до заданной нагрузки и выдерживали до разрушения, погружая в ячейку с электролитом (0,05 н $H_2SO_4 + 20$ мг/л $(NH_4)_2CS$) и с помощью источника постоянного тока проводили электролитическое наводороживание при плотности тока 5 мА/см² [1]. Регистрировали время до разрушения, разрушающую нагрузку (по диаграмме), а также сигналы акустической эмиссии, соответствующие зарождению трещины при испытании образцов надрезами [1].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

По результатам испытаний призматических образцов Шарпи с надрезами из порошковой стали с различной пористостью (9,8; 16,1; 18,0 и 21,0 %) строили кривые замедленного разрушения в координатах: максимальное локальное растягивающее напряжение – логарифм времени до разрушения и находили для каждой степени пористости пороговые максимальные локальные растягивающие напряжения σ_{11th}^H (П) [10]. Расчет максимальных локальных растягивающих напряжений проводили с помощью метода конечных элементов по методике [4, 10]. Установлено, что как для других мартенситных сталей, так и для порошковой стали 45Н4Д2М, содержащей

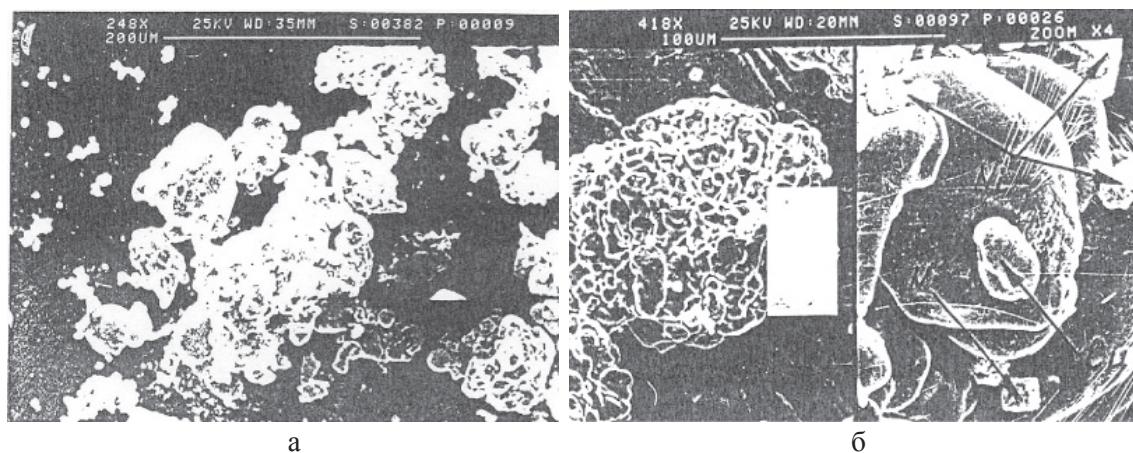


Рис. 1.

а – форма частиц частично легированного порошка ПЖМ4Д2М;
б – форма частиц Cu и Ni в частично легированном порошке ПЖМ4Д2М

мартенсит, характерны три стадии развития замедленного разрушения, вызванного водородом: инкубационный период (зарождение трещины), стабильный (медленный) рост и катастрофическое разрушение [8].

Аналогичным образом по результатам испытаний призматических образцов Шарпи с наведенными усталостными трещинами строили кривые замедленного разрушения в координатах: коэффициент интенсивности напряжений – логарифм времени до разрушения и находили значения порогового коэффициента интенсивности напряжений – K_{Ith}^H [4] для каждой степени пористости стали. Пороговое локальное напряжение – σ_{11th}^H и пороговый коэффициент интенсивности напряжений – K_{Ith}^H являются структурно-чувствительными характеристиками. Поэтому представляло интерес установление их зависимости от степени пористости стали. Пороговое локальное напряжение характеризует сопротивление стали зарождению трещины при замедленном разрушении, вызванном водородом, а пороговый коэффициент интенсивности напряжений характеризует сопротивление стали развитию трещины при замедленном разрушении [4].

С целью обобщения экспериментальных данных были построены зависимости критического локального напряжения (равного сопротивлению сколу) $\sigma_{11} = \sigma_F$ при активном и порогового локального напряжения σ_{11th}^H при замедленном разрушении от степени пористости стали 45Н4Д2М (рис. 2).

По результатам испытаний образцов с наведенными усталостными трещинами были установлены зависимости критического коэффициента интенсивности напряжений при активном разрушении и порогового коэффициента интенсивности напряжений от степени пористости порошковой стали (рис. 3).

Анализ влияния пористости на величину критического локального напряжения показывает, что с ростом пористости имеет место монотонное снижение σ_F . Эта зависимость в первом приближении носит линейный характер и может быть описана выражением вида

$$\sigma_F = \sigma_F^0 - k\P, \quad (1)$$

где σ_F^0 – критическое максимальное локальное растягивающее напряжение, соответствующее «нулевой» пористости; k – коэффициент; Π – пористость.

Подобный характер зависимости $\sigma_F(\Pi)$, по всей видимости, связан с уменьшением «живого» сечения материала с ростом пористости.

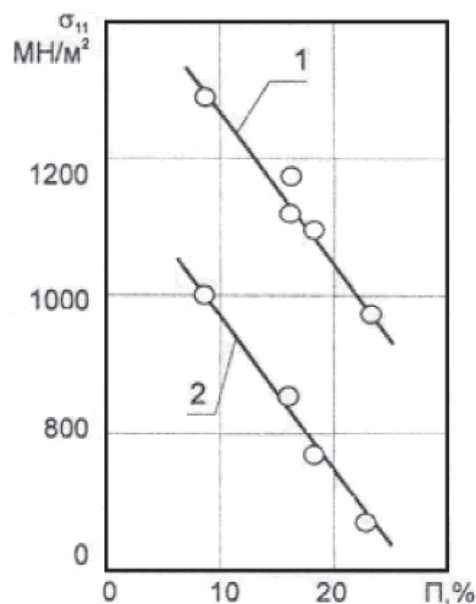


Рис. 2. Зависимости критического локального напряжения σ_F при активном – 1 и порогового локального напряжения σ_{11th}^H при замедленном разрушении – 2 от степени пористости стали 45Н4Д2М

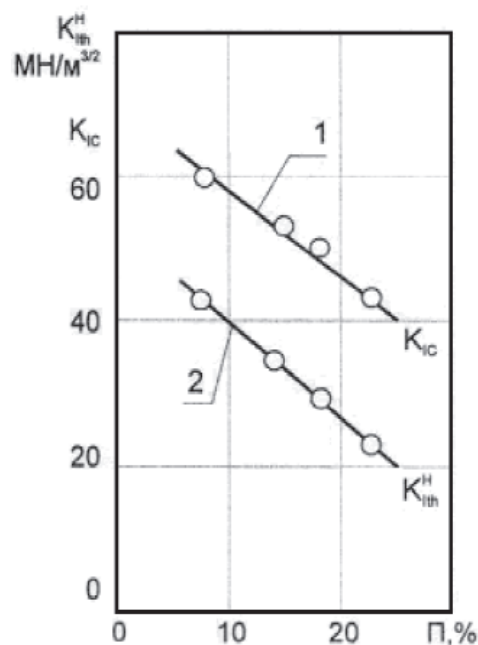


Рис. 3. Зависимости критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC} при активном (1) и порогового коэффициента интенсивности напряжений K_{Ith}^H при замедленном разрушении (2) от степени пористости порошковой стали 45Н4Д2М.

При рассмотрении влияния пористости на величину порогового максимального локального растягивающего напряжения при замедленном хрупком разрушении, вызванном водородом, установлено, что увеличение пористости приводит к линейному снижению порогового σ_{1th}^H .

$$\sigma_{1th}^H = \sigma_{1th}^{H(0)} - m\Pi, \quad (2)$$

где $\sigma_{1th}^{H(0)}$ – пороговое максимальное локальное растягивающее напряжение, соответствующее нулевой пористости; m – коэффициент.

Обращает на себя внимание параллельный ход кривых $\sigma_F(\Pi)$ и $\sigma_{1th}^H(\Pi)$, то есть можно считать, что коэффициенты k и m в выражениях (1) и (2) соответственно практически одинаковые. Физически разность $\Delta\sigma = \sigma_F - \sigma_{1th}^H$ представляет собой вклад водорода при замедленном хрупком разрушении в понижение прочности границ между порошинками. В связи с изложенным выше можно отметить, что в этом случае $\Delta\sigma$ не зависит от пористости (в равновесных условиях, как это имеет место для порогового напряжения) и предположительно представляет собой избыточное давление водорода, молизирующегося в порах, т.е. $\Delta\sigma \approx P_{H_2}$. По-видимому, в рассматриваемом случае водородное охрупчивание протекает по известному механизму избыточного давления газообразного водорода [4].

Влияние пористости на сопротивление материала распространению трещины имеет аналогичную тенденцию (рис. 3). С увеличением пористости K_{IC} (кривая 1) при активном нагружении снижается в связи с уменьшением энергетических затрат при слиянии пор с фронтом растущей трещины. Изучение влияния пористости на пороговый коэффициент интенсивности напряжений позволило установить, что, как и для зависимости $\sigma_{1th}^H(\Pi)$, рост пористости ведет к уменьшению K_{1th}^H . В первом приближении такая зависимость может быть описана выражением вида (3)

$$K_{1th}^H = K_{1th}^{H(0)} - n \cdot \Pi, \quad (3)$$

где n – коэффициент; K_{1th}^H – пороговый коэффициент интенсивности напряжений; $K_{1th}^{H(0)}$ – пороговый коэффициент интенсивности напряжений, соответствующий разрушению стали без пор.

Обнаружено также, что и для коэффициента интенсивности напряжений разность $\Delta K = K_{IC} - K_{1th}^H$ не зависит от пористости.

Изменение пористости влияет на принципиально разные стадии хрупкого раз-

рушения – зарождение и распространение трещины. Учитывая, что ΔK не зависит от пористости, снижение K_{1th}^H с ростом пористости обусловлено только уменьшением энергетических затрат на распространение трещины при слиянии пор с фронтом растущего дефекта.

Выводы

1. Изучен локальный процесс зарождения и развития трещины в порошковой стали, содержащей мартенситную составляющую, в водородсодержащих средах при замедленном и активном разрушении. Основой методики является использование метода математического моделирования напряженного состояния (метод конечных элементов) образцов с концентраторами напряжений для определения локальных напряжений в месте зарождения трещины.

2. Впервые обнаружено явление замедленного хрупкого разрушения спеченных порошковых сталей в водородсодержащих средах и изучены его механизмы. Установлено, что порошковые стали, имеющие мартенситную составляющую, проявляют склонность к замедленному хрупкому разрушению, вызванному водородом, которое протекает, как и для других мартенситных сталей, в три стадии.

3. С ростом пористости величины критического локального напряжения при активном разрушении и порогового локального растягивающего напряжения при замедленном разрушении, вызванном водородом, линейно снижаются, причем коэффициенты линейности для этих кривых одинаковы и установлены аналитически. Это связано с уменьшением «живого» сечения материала при увеличении пористости. Одинаковую разность локальных напряжений связывали с тем, что она не зависит от пористости и представляет собой избыточное давление водорода, молизирующегося в порах, т.е. $\Delta\sigma \approx P_{H_2}$. Установлено, что водородное охрупчивание порошковой стали протекает по механизму избыточного давления газообразного водорода.

4. Влияние пористости на сопротивление материала распространению трещины имеет аналогичную тенденцию. С увеличением пористости вязкость разрушения K_{IC} при активном нагружении и пороговый коэффициент интенсивности напряжений K_{1th}^H снижаются с одинаковыми коэффициентами линейности. Это связывали с равным для каждой пористости уменьшением энергетических затрат при слиянии пор с фронтом растущей трещины.

Список литературы

1. Мишин В.М., Береснев А.Г., Саррак В.И. Способ определения склонности к замедленному разрушению стали при одновременном действии водорода и механических напряжений // Заводская лаборатория. – 1986. – № 8. – С. 69–71.
2. Мишин В.М., Сибилев А.В. Критерий хладноломкости стальных деталей. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 11. – С. 102.
3. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению. // Деформация и разрушение материалов. – 2007. – № 3. – С. 37–42.
4. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Физика замедленного разрушения сталей: монография. – Минеральные Воды, «Полиграфпром», 2013. – 455 с.
5. Саррак В.И., Филиппов Г.А. О природе явления задержанного разрушения закаленной стали // Митом. – 1976. – № 12. – С. 36–41.
6. Сибилев А.В., Мишин В.М. Влияние пористости порошковой стали на характеристики хладноломкости. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 3. – С. 72–73.
7. Сибилев А.В., Мишин В.М. Характеристики локального разрушения порошковой стали в зависимости от температуры и пористости. // Вестник ТГУ. – 2013. – т. 18. – Вып. 4. – С. 1641–1646.
8. Филиппов Г.А., Саррак В.И., Перкас М.Д. Явление замедленного разрушения в мартенситностареющей стали // ДАН СССР. – 1976. – № 6. – С. 819–821.
9. Шиховцов А.Н., Мишин В.М. Кинетика и микромеханика замедленного разрушения стали. // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 858–861.
10. Шиховцов А.Н., Мишин В.М. Оценка факторов, влияющих на микромеханизм замедленного разрушения стали с помощью метода конечных элементов. // Вестник ТГУ. – 2013. – т. 18. – Вып. 4. – С. 1913–1915.
11. Sararak V.I., Mishin V.M. Delayed failure of steels // Soviet Materials Science. – 1992. – Vol. 28. – № 5. – P. 419–420.

References

1. Mishin V.M., Beresnev A.G., Sararak V.I. Sposob opredeleniya sklonnosti k zamedlennomu razrusheniju stali pri odnovernennom dejstvii vodoroda i mehanicheskikh naprazhenij [A method for determining the propensity to delayed fracture of steel under the simultaneous action of hydrogen and mechanical stresses] // Zavodskaja laboratorija. 1986. no. 8. pp. 69–71.
2. Mishin V.M., Sibilev A.V. Kriterij hladnolomkosti stalnyh detalj. [Criterion cold brittleness of steel parts] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2011. no. 11. pp. 102.

dunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. 2011. no. 11. pp. 102.

3. Mishin V.M., Filippov G.A. Kriterij i fiziko-mehanicheskaja harakteristika soprotivlenija stali zamedlennomu razrusheniju [Criterion and the physico-mechanical characteristics of resistance to delayed fracture of steel] // Deformacija i razrushenie materialov. 2007. no. 3. pp. 37–42.
4. Mishin V.M., Filippov G.A. Fizika zamedlennogo razrushenija stalej. (Monografija). [Physics delayed fracture of steels] Mineralnye Vody, «Poligrafprom», 2013. 455 p.
5. Sararak V.I., Filippov G.A. O prirode javlenija zaderzhanogo razrushenija zakalenoj stali [On the nature of the phenomenon of detainee destroying hardened steel] // Mitom. 1976. no. 12. pp. 36–41.
6. Sibilev A.V., Mishin V.M. Vlijanie poristosti poroshkovoj stali na harakteristiki hladnolomkosti [Influence of porosity powder steel on the characteristics of cold brittleness] // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2013. no. 3. pp. 72–73.
7. Sibilev A.V., Mishin V.M. Harakteristiki lokalnogo razrushenija poroshkovoj stali v zavisimosti ot temperatury i poristosti [Characteristics of local failure in the steel powder according to the temperature and porosity] // Vestnik TGU. 2013. t.18. vyp.4. pp. 1641–1646.
8. Filippov G.A., Sararak V.I., Perkas M.D. Javlenie zamedlennogo razrushenija v martensitnostarejushhej stali [The phenomenon of delayed fracture in maraging steel] // DAN SSSR. 1976. no. 6. pp. 819–821.
9. Shihovcov A.N., Mishin V.M. Kinetika i mikromehanika zamedlennogo razrushenija stali. // Fundamentalnye issledovaniya [Kinetics and micromechanics delayed fracture of steel] 2013. no. 4. pp. 858–861.
10. Shihovcov A.N., Mishin V.M. Ocenka faktorov, vlijajushhih na mikromehanizm zamedlennogo razrushenija stali s pomoshhju metoda konechnykh jelementov [Evaluation of factors affecting the microscopic mechanism of delayed fracture of steel using the finite element method] // Vestnik TGU. 2013. t.18. vyp.4. pp. 1913–1915.
11. Sararak V.I., Mishin V.M. Delayed failure of steels // Soviet Materials Science. 1992. Vol. 28. no. 5. pp. 419–420.

Рецензенты:

Янукия Э.Г., д.ф.-м.н., декан инженерного факультета, Северо-Кавказский федеральный университет, филиал, г. Пятигорск;
 Казуб В.Т., д.т.н., профессор, зав. кафедрой физики и математики, Пятигорская государственная фармацевтическая академия, г. Пятигорск.

УДК 004.896

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕДИТОВАНИЯ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ СТАНОВЛЕНИИ ДОЛГОСРОЧНОГО РАВНОВЕСИЯ

Пелипенко Е.Ю., Халафян А.А., Гортинская В.В.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», Краснодар, e-mail: rector@kubsu.ru

Внешнеэкономическая и политическая дестабилизация в России в конце 2014 – начале 2015 годов в значительной мере повлияла на рынок кредитования. Высокая волатильность рубля и рост величины ключевой ставки заставили финансовые учреждения сократить объемы выдаваемых кредитов. Сейчас, в условиях стабилизации экономической ситуации в стране, кредитные организации вновь начинают борьбу за долю платежеспособного спроса на рынке. Решающим в такой борьбе является предложение условий кредитования, совокупно выгодных для заемщика и кредитора в данный момент времени. Поэтому финансовым учреждениям важно отслеживать во времени процесс изменения спроса и предложения в условиях стабилизации экономической ситуации, когда отсутствуют внешние экономические изменения, а рынок кредитования преодолевает изменения на фоне прошлых «сотрясений». В статье предложена динамическая модель расчета ставки и величины кредита, позволяющая определить одновременные равновесные состояния на рынке кредитования в процессе становления долгосрочного равновесия. Использование данной модели позволит финансовым учреждениям прогнозировать равновесные значения ставки и величины кредита в долгосрочной перспективе, а значит повысить свою конкурентоспособность.

Ключевые слова: долгосрочное равновесие, финансовое состояние предприятия, величина кредита, процентная ставка по кредиту, точка равновесия, функция спроса, функция предложения, линейное однородное разностное уравнение, краевая задача

MATHEMATICAL MODEL FOR LENDING OPTIONS DETERMINATION OF RUSSIAN ENTERPRISES BY THE WAY OF LONG-TERM EQUILIBRIUM FORMATION AT THE LENDING MARKET

Pelipenko E.Y., Khalafyan A.A., Gortinskaya V.V.

Kuban State University, Krasnodar, e-mail: rector@kubsu.ru

Foreign economic and political destabilization in Russia at the end 2014 in early 2015 has affected the lending market. The high volatility of the ruble and the rise of the key rate have led to reduction of loans by financial institutions. Now days, in economic stabilization way, banks aims to attract solvent customers. The aim can be achieved through method which one allows to find favorable amount of lending and lone rate for both of lender and borrower. Therefore controlling of supply and demand changes is important for financial institution, especially in the way of economic stabilization, when external economic changes are absent and lending market goes through changes in the past. In the article dynamic model of lending amount and lone rate calculating is proposed. Through this model is possible to determine balance point for each discrete moment by the way of long-term equilibrium formation at the lending market. Usage this model by financial institutions is allows to predict long-term balance value of lending amount and lone rate. It will helps to increase the competitiveness of credit organization.

Keywords: long-term equilibrium, financial condition, amount of lending, lone rate, balance point, demand function, supply function, linear homogeneous differential equation, boundary value problem

В условиях стабилизации экономической ситуации в стране актуальной является задача определения одновременных параметров кредитования при становления долгосрочного равновесия на рынке кредитования. Данную задачу возможно решить путем построения динамической модели расчета ставки и величины кредита в долгосрочной перспективе.

При решении поставленной задачи использовали кардиналистскую концепцию, моделирующую поведение потребителя на рынке кредитования. Будем считать, что все факторы, влияющие на объем спроса на кредит, постоянны, кроме процентной ставки. Обозначим через $q_d(p)$ – функцию предложения займа кредитной организации,

$q_d(p)$ – функцию спроса на кредит потенциальным клиентом, p – плату за пользование кредитом (стоимость одного рубля займа), причем вблизи точки равновесия можем считать функции линейными [5]. Прямая функции спроса заемщика имеет отрицательный наклон, который отображает закон спроса (первый закон Госсена) и задается уравнением

$$q_d(p) = a - b \cdot p \quad (a, b > 0).$$

Функция предложения имеет положительный наклон, поэтому задается уравнением

$$q_s(p) = m + n \cdot p \quad (m, n > 0).$$

Будем считать, что значения коэффициентов a, b, m и n известны, а значит, функции

спроса и предложения заданы. Тогда условие равновесия, т.е. когда кредитные организации и клиенты имеют максимальный суммарный выигрыш, определяется двойным равенством:

$$q_s(p^*) = q_d(p^*) = q^*$$

или равносильной системой равенств:

$$\begin{cases} q^* = q_s(p^*) \\ q^* = q_d(p^*) \end{cases} \quad (1)$$

Решением уравнения и системы является плата p^* , которую готовы заплатить клиенты и предложить банки за кредит величины

$$q^* = q_s(p^*) = q_d(p^*).$$

Для анализа равновесного состояния на рынке кредитования во времени примем во внимание, что при планировании совершения сделки (непосредственно выдача заемных денежных средств кредитору) клиент и кредитная организация могут оказаться в неодинаковом положении. Клиент, планируя в периоде t получить займ, знает цену займа в этом периоде, а кредитная организация в то же время не имеет представления, какую цену займа к моменту выдачи кредита она способна будет предоставить.

Процесс становления равновесия на рынке кредитования является непрерывным, а потому описывается непрерывной функцией от времени $p(t)$. Так как $q_s(p)$ и $q_d(p)$ – функции, зависящие от цены рубля займа, то задача поиска долгосрочного равновесия сводится к исследованию зависимостей $p(t)$, $q_s(p)$, $q_d(p)$ и поиску оптимальной точки p^* . На практике ставка кредитования не меняется непрерывно в течение времени. Изменения происходят в определенные дискретные моменты. Поэтому преобразование совокупности входных данных системы (бухгалтерской отчетности, ключевой ставки, уровня риска неплатежеспособности, данных кредитной истории и др.) можно рассматривать как дискретную систему, а функцию $p(t)$ – как дискретную функцию, определенную в моменты времени t_i . Входные данные системы являются входными дискретными сигналами.

Процесс дискретизации представляет собой квантование по времени с постоянным периодом

$$\Delta t = t_i - t_{i-1},$$

где t_i – некоторый момент времени, а t_{i-1} – предшествующий ему момент. Если интерполяция полученной дискретной функции $p(t_i)$ совпадает с исходной непрерывной функцией $p(t)$, говорят, что дискретизация прошла без потери информации, т.е. исход-

ная функция $p(t)$ совпадает с восстановленной в результате интерполяции. Свойство дискретных систем, позволяющее сохранять однозначность интерполяции в диапазоне $2 \cdot \Delta t \cdot \Omega \in (0, 1]$, называется стробоскопическим эффектом. Данное свойство является следствием из теоремы Котельникова – Шеннона [4], согласно следствиям из которой

$$\Delta t \leq \frac{1}{2\Omega},$$

где 2Ω – частота дискретизации, а Ω – частота Найквиста, т.е. минимальная частота, с которой нужно посылать импульсы, чтобы не было потери информации. Если $2 \cdot \Delta t \cdot \Omega > 1$, то исходная функция не может быть восстановлена. Возникающий эффект называется эффектом появления ложных частот (*aliasing*). Частота дискретизации определяется максимальной частотой спектра входного сигнала.

В нашем случае необходимо учесть частоту изменения входных параметров, которые используются при расчете значения ставки по кредиту. На ее величину влияют величина риска кредитования, перерасчет которой происходит ежедневно в конце рабочего дня [1]; ключевая ставка или ставка межбанковского кредитования, максимальная частота изменения которых составляет 1 раз в день в первой половине [2]; доход кредитной организации, который планируется ежемесячно.

Таким образом, максимальная частота входных данных составляет 2 раза в день, т.е. частота Найквиста $\Omega = 0,5$. Исходя из этого, согласно теореме Котельникова – Шеннона, максимальный период дискретизации, обеспечивающий преобразование (интерполяцию) дискретной функции в непрерывную без потери информации, равен

$$\Delta t = \frac{1}{2\Omega} = 1, \text{ т.е. одному дню.}$$

Полученные результаты совпадают с практикой, используемой кредитными организациями: изменение ставки по кредиту не производится финансовыми учреждениями чаще, чем 1 раз в день.

Процесс становления долгосрочного равновесия на рынке кредитования может быть отражен динамической паутинообразной дискретной моделью [5], которая позволяет определить процентную ставку по кредиту в момент времени t_i на основе данных, полученных в предыдущий момент времени t_{i-1} . Это означает, что предложение по величине цены займа в момент времени t_i зависит от цены предшествующего периода t_{i-1} :

$$q_s(t_i) = m + n \cdot p(t_{i-1}).$$

А спрос на заемные денежные средства в момент времени t_i зависит от цены заемных денежных средств этого же момента t_i :

$$q_d(t_i) = a - b \cdot p(t_i).$$

Тогда условие равновесия (1) в момент времени t_i можно записать в виде

$$q_d(t_i) = q_s(t_i)$$

или

$$a - b \cdot p(t_i) = m + n \cdot p(t_{i-1}),$$

следовательно,

$$p(t_i) = \alpha + \beta \cdot p(t_{i-1}), \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{(a-m)}{b}$ и $\beta = \frac{n}{b}$.

Предположим, что цена займа и объемы спроса и предложения не являются постоянными величинами, т.е. происходит процесс становления долгосрочного равновесия. Исследуем условия, при которых достигается долгосрочное равновесие. Пусть начальный момент времени $t_0 = 0$, тогда при $\Delta t = 1$, значение которого было рассчитано выше, $t_1 = 1$, $t_2 = 2$, $t_3 = 3$, и так далее. Тогда

$$p(1) = \alpha + \beta \cdot p(0);$$

$$p(2) = \alpha + \beta \cdot p(1) = \alpha + \beta \cdot (\alpha + \beta \cdot p(0)) = \alpha + \alpha \cdot \beta + \beta^2 \cdot p(0);$$

$$p(3) = \alpha + \beta \cdot p(2) = \alpha + \beta \cdot (\alpha + \alpha \cdot \beta + \beta^2 \cdot p(0)) = \alpha + \alpha \cdot \beta + \alpha \cdot \beta^2 + \beta^3 \cdot p(0);$$

$$p(i) = \alpha \cdot (1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{i-1}) + \beta^i \cdot p(0). \quad (5)$$

Выражение

$$1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{i-1} = \sum_{j=0}^{i-1} \beta^j$$

есть частичная сумма ряда $\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j$. Заметим, что

$$1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{i-1} = \sum_{j=0}^{i-1} \beta^j = \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j - \sum_{j=i}^{\infty} \beta^j,$$

но $\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j$ является рядом геометрической прогрессии со знаменателем $q = \beta$, следовательно, он сходится при всех $|\beta| < 1$, т.е. при $-1 < \beta < 1$ и его сумма равна

$$S(\beta) = \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j = \frac{1}{1-\beta}.$$

Очевидно, что

$$\sum_{j=i}^{\infty} \beta^j = \beta^i + \beta^{i+1} + \dots = \beta^i \cdot (1 + \beta + \beta^2 + \dots) = \beta^i \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j = \frac{\beta^i}{1-\beta},$$

тогда

$$1 + \beta + \beta^2 + \dots + \beta^{i-1} = \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j - \sum_{j=i}^{\infty} \beta^j = \frac{1}{1-\beta} - \frac{\beta^i}{1-\beta} = \frac{1-\beta^i}{1-\beta}.$$

Подставив полученное значение частичной суммы ряда в (5), получим

$$p(i) = \alpha \cdot \frac{(1-\beta^i)}{1-\beta} + \beta^i \cdot p(0).$$

$$t_i = i \cdot \Delta t = i$$

и

$$t_{i-1} = (i-1) \cdot \Delta t = i \cdot \Delta t - \Delta t = t_i - 1 = i - 1.$$

Уравнение (2) можно переписать в виде

$$p(i) = \alpha + \beta \cdot p(i-1). \quad (3)$$

Уравнение вида (3) является линейным неоднородным разностным уравнением. Если дополнительно известна ставка кредитования в начальный момент времени t_0 , то уравнение (3) совместно с граничным условием $p(0) = p_0$ образуют краевую задачу вида

$$\begin{cases} p(i) = \alpha + \beta \cdot p(i-1) \\ p(0) = p_0 \end{cases}. \quad (4)$$

Решение разностного уравнения краевой задачи можно получить одним из двух способов [3]: подстановкой или в виде суммы общего решения однородного разностного уравнения и частного решения неоднородного. Рассмотрим первый способ.

При нахождении решения разностного уравнения путем подстановки из равенства (3) получаем

После группировки слагаемых данное уравнение примет вид

$$p(i) = \frac{\alpha}{1-\beta} + \beta^i \cdot \left(p(0) - \frac{\alpha}{1-\beta} \right).$$

С учетом граничного условия решение можно переписать в виде

$$p(i) = \frac{\alpha}{1-\beta} + \beta^i \cdot \left(p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right). \quad (6)$$

Интервал сходимости ряда $\sum_{j=0}^{\infty} \beta^j$ задается условием $|\beta| < 1$, поэтому p_i примет конечное значение при $|\beta| = \left| -\frac{n}{b} \right| < 1$, т.е. при $b < n$. Так как b и n определяют тангенсы углов наклона линий спроса и предложения соответственно, то долгосрочное равновесие в паутинообразной модели является устойчивым только в том случае, когда прямая спроса имеет меньший наклон к оси абсцисс, чем прямая предложения.

Рассмотрим поведение решения $p(i)$ при $t_i \rightarrow \infty$, т.е. равновесное значение цены займа, которое мы получим в случае, если в системе кредитования не будет происходить никаких внешних или внутренних изменений, влияющих на формирование функции спроса и предложения. Процесс перехода от одного равновесного состояния к другому в течение времени отражается значениями дискретной функции $p(t_i) = p(i)$. При $t_i \rightarrow \infty$ величина $p(t_i)$ примет конечное значение, если $\beta^i \rightarrow 0$, т.е. когда $|\beta| < 1$ или $b > n$ при $b > 0$ и $n > 0$. Величины b и n определяют наклоны функций спроса и предложения, поэтому неравенство $b > n$ означает, что прямая предложения имеет больший наклон к оси абсцисс, чем прямая спроса. Рассмотрим графическое изображение. Использу-

ем декартову систему координат, в которой ось абсцисс – значение величины кредита q , а ось ординат – величина стоимости одного рубля заемных денежных средств p . Функции спроса и предложения в такой системе координат вблизи точки равновесия имеют линейный вид. На рис. 1 изображен случай существования долгосрочного равновесия.

В случае когда $|\beta| > 1$, т.е. когда $|b| < n$, происходит процесс нарушения равновесия в «паутинообразной» модели. Рис. 2 отражает такой случай.

Предположим, точка долгосрочного равновесия существует, т.е. $|\beta| < 1$. Если рассмотреть время как непрерывную переменную, то при $t \rightarrow \infty$ и $|\beta| < 1$ возможно найти точку долгосрочного равновесия по формуле

$$p^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\left(p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right) \cdot \beta^t + \frac{\alpha}{1-\beta} \right] = \frac{\alpha}{1-\beta}.$$

Введем обратную замену $\alpha = \frac{(a-m)}{b}$ и $\beta = -\frac{n}{b}$, получим:

$$p^* = \frac{a-m}{b+n} \text{ и } q^* = \frac{a \cdot n + b \cdot m}{b+n}.$$

Можно рассчитать, через какой период времени долгосрочное равновесие будет достигнуто. Для этого необходимо решить уравнение $p(t_i) - p(t_{i-1}) = 0$ относительно t_i . Данное уравнение может не иметь решений в области целых чисел, поэтому можно искать значение t_i , при котором величина цены на займ не отличается от «следующей» цены на займ на величину ε , равную минимальной цене деления единицы измерения p , т.е. $|p(t_i) - p(t_{i-1})| < \varepsilon$. Единицей измерения цены кредита является рубль, а минимальная цена деления рубля – 1 копейка, поэтому $\varepsilon = 0,01$. Тогда задача сводится к нахождению такого t_i , при котором $|p(t_i) - p(t_{i-1})| < 0,01$. Решим неравенство:

$$\left| \left(p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right) \cdot \beta^i + \frac{\alpha}{1-\beta} - \left(p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right) \cdot \beta^{i-1} - \frac{\alpha}{1-\beta} \right| < 0,01; \quad \left| \left(p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right) \cdot \beta^{i-1} (1-\beta) \right| < 0,01. \quad (7)$$

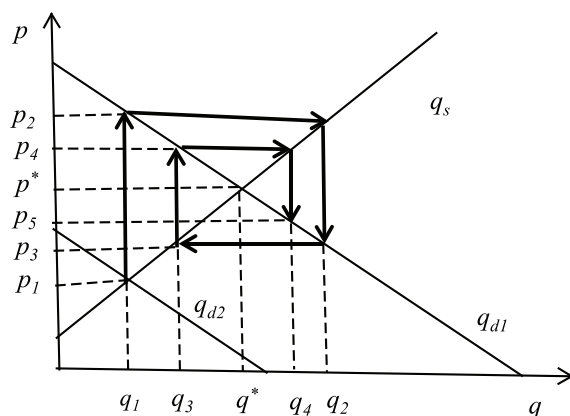


Рис. 1. Становление долгосрочного равновесия «паутинообразной» модели

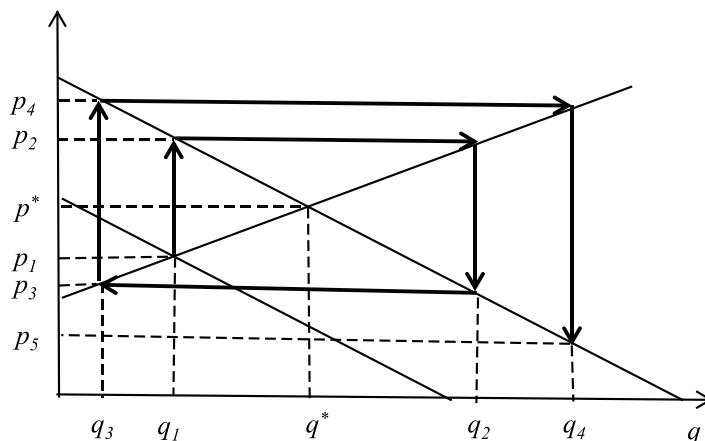


Рис. 2. Нарушение равновесия в «паутинообразной» модели

Прямые спроса и предложения имеют разный наклон, $\beta = -\frac{n}{b} < 0$ и $|\beta| < 1$, поэтому $-1 < \beta < 0$. В то же время $p_0 > 1$ и $\alpha = \frac{a-m}{b} < 0$, т.к. $a > m$ и $b > 0$, иначе прямые спроса и предложения не пересекались и равновесной точки не существовало. Поэтому неравенство (7) можно записать в виде

$$\left| p_0 - \frac{\alpha}{1-\beta} \right| \cdot |\beta|^{i-1} \cdot (1-\beta) < 0,01.$$

Возьмем логарифм по основанию от обеих частей, поменяв знак неравенства на противоположный, т.к. $|\beta| < 1$. Неравенство для периода, необходимого для установления долгосрочного равновесия на рынке кредитования, примет вид

$$t_i > \log_{|\beta|} \left| \frac{0,01}{p_0 \cdot (1-\beta) + \alpha} \right| + 1.$$

Количество дней, необходимое для установления долгосрочного равновесия, – целое число, поэтому при расчетах использовали функцию $\text{int}()$, которая возвращает ближайшее меньшее целое значение аргумента. Необходимо учитывать, что период становления долгосрочного равновесия будет соответствовать ближайшему большему целому числу. Поэтому неравенство можно переписать в виде равенства:

$$t_i = \text{int} \left(\log_{|\beta|} \left| \frac{0,01}{p_0 \cdot (1-\beta) + \alpha} \right| \right) + 2.$$

С момента времени t_i установившееся долгосрочное равновесие на рынке кредитования не будет изменяться в условиях сохраняющихся внутренних и внешних параметров системы.

Таким образом, зная параметры функций спроса и предложения в изменившихся

внешних или внутренних условиях и исходную равновесную ставку по кредиту, можно смоделировать процесс становления долгосрочного равновесия на рынке кредитования, рассчитать значения равновесной точки $M(p^*, q^*)$ и определить период t_i , когда долгосрочное равновесие будет установлено.

Список литературы

1. О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности: Положение ЦБ РФ от 26 марта 2004 г. № 254-П (с учетом изменений и дополнений): зарегистрировано в Минюсте России 26.04.2004 № 5774, 23 с.
2. Официальный сайт Центрального банка России [Электронный ресурс] URL: <http://www/cbr.ru> (дата обращения: 15.11.2014).
3. Романко, В.К. Разностные уравнения: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 108 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие для студ. вузов. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 756 с.
5. Тарасевич, Л.С. Микроэкономика: учебник / Л.С. Тарасевич, П.И. Гребенников, А.И. Леусский. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт-Издат, 2006. – 374 с.

References

1. O poryadke formirovaniya kreditnymi organizatsiyami rezervov na vozmozhnye poteri po ssudam, po ssudnoy i priravnennoy k ney zadolzhennosti [About the order of allowances for loans losses formation by credit institutions]: provision of The Central Bank of the Russian Federation by 26.03.2004, no. 254 23 p.
2. Oficial'nyj sayt Centralnogo banka Rossii [Official Central Bank of Russia websait]. Available at: <http://www/cbr.ru> (accessed 15.11.2014).
3. Romanko V.K. Raznostnye uravneniya [Differential equations]. Study guide. Moscow, BINOM, Laboratorija znaniy Publ., 2012. 108 p.
4. Sergienko A.B. Cifrovaja obrabotka signalov [Digital signal processing]. Study guide. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2011. 756 p.
5. Tarasevich L.S., Grebennikov A.I., Leussky A.I. Mikroekonomika [Microeconomics]. Study guide. Moscow, Urait Publ., 2006, 374 p.

Рецензенты:

Лебедев К.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры вычислительной математики и информатики, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар;
Уртенев М.А.Х., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной математики, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар.

УДК 549.31

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СЕЛЕНИДОВ МЕДИ В ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РАСТВОРАХ

Петров Г.В.

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, e-mail: petroffg@yandex.ru*

При цементационном осаждении селена из сернокислых растворов газоочистки медного и медно-никелевого производств металлической медью образуется селеновый цементат, содержащий до 50 % селена, преимущественно в виде селенидов меди. С целью создания универсального метода для извлечения селена из элементарных и селенидных форм, характеризующегося замкнутостью цикла растворов, в статье рассмотрено выщелачивание селенового цементата в щелочных серосодержащих растворах, где окислителем селена выступает сера различной степени окисления. Проведенная термодинамическая оценка возможности взаимодействия селенидов меди различной валентности с серой и полисульфидами свидетельствует об образовании в щелочной среде устойчивых сульфоселенидов и сульфодиселенид-ионов. Установлено, что закономерности полисульфидного разложения селенидов меди в щелочной сернистой среде определяются степенью ее полисульфидности. Максимальный переход селена в щелочной раствор (до 86 %) обеспечивает применение тетрасульфидного раствора. Последующее выделение селена из сульфодиселенидных растворов при 20° С с введением серы из расчета образования пентасульфид-ионов сопровождается извлечением 60 % селена в нерастворимый остаток.

Ключевые слова: медные цементаты, селен, селениды, полисульфиды, селеносульфиды

FEATURES OF BEHAVIOUR OF COPPER SELENIDE IN POLYSULFIDE SOLUTIONS

Petrov G.V.

National Mineral Resources University, Saint-Petersburg, e-mail: petroffg@yandex.ru

Selenium cementate generated during selenium cementation by metal copper from sulfate solutions of water scrubbing at copper and copper-nickel productions. It contains to 50% of selenium, mainly in the form of copper selenides. Leaching of selenium cementate in alkaline sulfur-bearing solutions, where sulfur in different oxidation states acts as an oxidizer for selenium, is considered in article. This is done in order to create a universal method for the extraction of selenium from elementary and selenide forms with a closed loop solutions. The thermodynamic assessment of possibility of interaction of copper selenides with sulfur and polysulfides is carried out. It indicates about formation sulfoselenide- sulfodiselenide- ions, sustainable in an alkaline environment. It is established that regularities of leaching of copper selenide by polysulfides in the alkaline sulphurous environment are defined by degree of its polysulfidity. Use of tetrasulfide solution provides the maximum transition of selenium to alkaline solution (to 86%). Release of selenium from the sulfodiselenide solutions at 20°C with introduction of sulfur is followed by extraction of 60% of selenium into the insoluble residue.

Keywords: copper cementate, selenium, selenides, polysulfides, selenosulphides

Глубокое извлечение селена из сернокислотных растворов, образующихся при переработке медного и медно-никелевого сульфидного сырья, достигается цементацией с использованием медного порошка, в результате чего образуется кек, содержащий до 50 % селена, преимущественно в виде селенидов меди [1–3, 5, 6]. С целью создания эффективного метода для извлечения селена из элементарных и селенидных форм, характеризующегося замкнутостью цикла растворов, исследовано выщелачивание селенсодержащего материала в щелочных серосодержащих растворах, где окислителем селена выступает сера различной степени окисления.

Для принципиальной оценки метода и выбора реагента выполнены термодинамические расчеты вероятности протекания процессов взаимодействия селенидов

меди с серосодержащими соединениями в растворах при температурах 298 и 373 К. Ввиду отсутствия в литературе данных о термодинамических характеристиках селенидов меди и селеносульфатов натрия, они были рассчитаны при помощи метода Келли и правила Киреева. Данные методы относятся к аддитивным схемам расчета термодинамических данных, основанным на допущении постоянства инкрементов (составляющих рассматриваемого свойства или параметра), относящихся к определенным атомным группировкам, или на допущении постоянства разности инкрементов, соответствующих замещению данного атома или атомной группировки на другой определенный атом или атомную группировку в разных соединениях.

Согласно [4] были определены значения инкрементов энтропии для ионов Cu^+ ,

Cu^{2+} и Se^{2-} , которые составляют 49,37; 45,61 и 35,56 Дж/моль·К соответственно. С учетом стехиометрии реакции были рассчитаны значения энтропии для селенидов меди $S_{298, \text{CuSe}}^{\circ} = 81,17$ Дж/моль·К и $S_{298, \text{Cu}_2\text{Se}}^{\circ} = 134,3$ Дж/моль·К.

Энтропия селеносульфита натрия была определена по методу Киреева. Основой сопоставления в методе Киреева является однотипность соединений, то есть аналогичная формула, различающаяся лишь одним элементом, принадлежащим к одной подгруппе периодической системы и находящимся в одинаковом валентном состоянии. Для однотипных соединений двух аналогичных рядов наблюдается постоянство разностей значений энтропий.

Так как соединения Na_2SeSO_3 и Na_2SSO_3 являются однотипными, изменение энтропии при реакции (1) равно нулю:

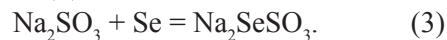


$$S_{298, \text{Na}_2\text{SeSO}_3}^{\circ} = S_{298, \text{Na}_2\text{SSO}_3}^{\circ} + S_{298, \text{Se}}^{\circ} - S_{298, \text{S}}^{\circ}. \quad (2)$$

Соответственно, по формуле (2) значение энтропии Na_2SeSO_3 составляет 131,59 Дж/моль·К.

Значения энергии Гиббса и энтальпии для селеносульфата натрия были определены исходя из того, что константа равнове-

сия реакции растворения селена в сульфите натрия (3) близка к единице, поэтому величины ΔG_{298}° и ΔH_{298}° для Na_2SO_3 и Na_2SeSO_3 отличаются мало и в первом приближении соответственно равны –1121,81 и –1010,98 кДж/моль.



Анализ расчетных данных свидетельствует о термодинамической вероятности взаимодействия селенидов меди с серой и полисульфидами. Изменение энергии Гиббса в пересчете на 1 моль селенида незначительно зависит от степени полисульфидности; термодинамическая вероятность вытеснения селена из Cu_2Se больше, чем из CuSe . Повышение температуры в свою очередь способствует сдвигу равновесия реакции в сторону вытеснения селена из селенидов серой. Взаимодействие селенидов меди с тиосульфатом маловероятно, а с моносulfидом практически невозможно.

Возможность выделения селена из селеносульфидов, образующихся в результате взаимодействия полиселенидов меди с серой в различных степенях окисления, описывается реакциями 13 и 14 (табл. 2). Равновесие этих реакций сдвигается вправо при понижении температуры и введении серы в раствор из расчета на образование пентасульфидов натрия.

Таблица 1

Значения термодинамических констант, принятые в расчетах

Вещество	Фазовое состояние	ΔH_{298}° , кДж/моль	ΔG_{298}° , кДж/моль	ΔS_{298}° , кДж/моль·град
CuSe	кр. гекс.	–39,54	–	81,17
Cu ₂ Se	к. куб.	–59,29	–	134,3
CuS	к. гекс.	–53,14	–53,57	66,53
Cu ₂ S	к. ромб.	–79,50	–85,65	100
S ^{2–}	р-р H ₂ O	35,35	91,88	–26,57
S ₂ ^{2–}	–	31,59	82,63	23,05
S ₃ ^{2–}	–	28,58	75,19	69,79
S ₄ ^{2–}	–	26,40	69,54	113,47
S ₅ ^{2–}	–	25,40	65,65	154,98
Se ^{2–}	–	132,21	155,64	83,68
Se ₂ ^{2–}	–	117,99	125,52	184,10
Se ₃ ^{2–}	–	105,86	99,58	271,96
Se ₄ ^{2–}	–	97,91	81,59	396,82
SSe ^{2–}	–	62,76	81,59	154,81
SSe ₂ ^{2–}	–	92,47	73,22	322,17
S	к. ромб.	0	0	31,80
Na ₂ SO ₃	р-р ст.	–1121,81	–1010,98	70,54
Na ₂ SeSO ₃	р-р ст.	–1121,81	–1010,98	131,59
Se	к. гекс.	0	0	41,84

Таблица 2

Расчет изменения энергии Гиббса в процессах взаимодействия серосодержащих соединений с селенидами меди в водных растворах

№ п/п	Реакция	ΔH_{298}^0 кДж/моль	ΔS_{298}^0 кДж/моль·град	ΔG_{298}^0 кДж/моль	ΔG_{373}^0 кДж/моль
Реакции разложения селенидов меди					
1	$\text{CuSe} + \text{S} = \text{CuS} + \text{Se}$	-3,25	-1	-2,95	-2,88
2	$\text{CuSe} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} + \text{Se}^{2-}$	19,9	23,0	13,05	11,32
3	$\text{CuSe} + \text{S}_2^{2-} = \text{CuS} + \text{SSe}^{2-}$	4,2	28,09	-4,17	-6,58
4	$2\text{CuSe} + \text{S}_3^{2-} = 2\text{CuS} + \text{SSe}_2^{2-}$	8,77	53,52	-7,18	-11,19
5	$2\text{CuSe} + 2\text{S}_4^{2-} = 2\text{CuS} + \text{Sse}_2^{2-} + \text{S}_5^{2-}$	9,05	53,0	-6,74	-10,72
6	$\text{CuSe} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{CuS} + \text{Na}_2\text{SeSO}_3$	3,17	-1,00	3,47	3,54
7	$\text{Cu}_2\text{Se} + \text{S} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{Se}$	-4,3	0	-4,3	-4,3
8	$\text{Cu}_2\text{Se} + \text{S}^{2-} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{Se}^{2-}$	18,85	23,95	11,71	9,92
9	$\text{Cu}_2\text{Se} + \text{S}_2^{2-} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{SSe}^{2-}$	3,15	29,09	-5,52	-7,70
10	$2\text{Cu}_2\text{Se} + \text{S}_3^{2-} = 2\text{Cu}_2\text{S} + \text{SSe}_2^{2-}$	5,61	55,52	-10,93	-15,10
11	$2\text{Cu}_2\text{Se} + 2\text{S}_4^{2-} = 2\text{Cu}_2\text{S} + \text{Sse}_2^{2-} + \text{S}_5^{2-}$	5,89	55,0	-10,5	-14,62
12	$\text{Cu}_2\text{Se} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{Cu}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SeSO}_3$	1,59	-0,705	1,79	1,82
Реакции выделения элементарного селена из сульфоселенидных растворов					
13	$\text{Sse}_2^{2-} + 3\text{S} = \text{S}_4^{2-} + 2\text{Se}$	-15,79	-52,68	-0,092	3,86
14	$\text{Sse}_2^{2-} + 4\text{S} = \text{S}_5^{2-} + 2\text{Se}$	-16,03	-48,2	-1,67	1,95

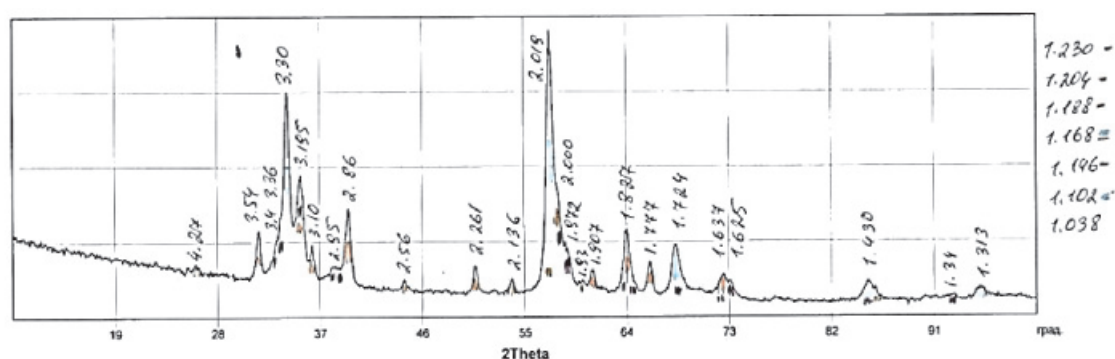


Рис. 1. Данные рентгенодифракционного анализа медного цементата

Эксперименты по выщелачиванию селена в полисульфидных растворах осуществлялись с использованием медного цементата, полученного при цементации селена медным порошком из чистого раствора селенистой кислоты при температуре 25°C. Согласно данным рентгенодифракционного анализа (использовался дифрактометр ДРОН-6 в $\text{FeK}\alpha_1\alpha_2$ – излучении с использованием монохроматора (кристалла графита) на первичном пучке) цементатов основной фазой в них является умангит Cu_3Se_2 и берцалинит Cu_{2-x}Se (рис. 1).

Исходные полисульфидные растворы готовили путем растворения элементарной серы в сернистом натрии, причем количество серы соответствовало заданной степени полисульфидности, которая варьировалась от 2 до 4 [3]. Для придания устойчивости растворам в них вводился едкий натрий в количестве 5–10 г/дм³. Расчет теоретически необходимого количества полисульфида производился на основании следующих реакций:



Из представленных реакций очевидно, что расход реагента на 1 в.ч. селена снижается с повышением степени полисульфидности. Эксперименты осуществлялись в открытых стаканах, при механическом перемешивании, с аналитическим контролем растворов и остатков по селену. Выборочно твердые остатки подвергались рентгено-структурному анализу.

Результаты экспериментов (табл. 3) свидетельствуют, что извлечение селена в раствор увеличивается от 48 до 61 % при увеличении степени полисульфидности от 2 до 3 (опыты 1 и 6). Дальнейшее увеличение извлечения селена обусловлено не столько ростом полисульфидности, сколько увеличением расхода реагента при неизменном Ж:Т пульпы (оп. 7 и 21, 8 и 22). Поэтому преимущественно эксперименты проводились на растворе полисульфида натрия со степенью полисульфидности 3 (Na_2S_3).

$$Y = -425,1269 + 427,8082X_1 - 42,9759X_2 - 89,9177X_1^2 + 15,9427X_1X_2 - 0,1595X_2^2, \quad (6)$$
 где Y – извлечение селена в раствор; X_1 – степень полисульфидности; X_2 – расход полисульфида.

Установлено, что увеличение концентрации реагента при одинаковом его расходе не сказывается на полноте извлечения селена (оп. 8, 16, 17).

Из сопоставления результатов опытов 17 и 18 следует, что понижение температуры с 90 до 70°C приводит к снижению извлечения селена с 79 до 70%. Увеличение продолжительности выщелачивания с одного до трех часов незначительно сказывается на результатах, увеличивая извлечение селена с 81 до 86% (оп. 7, 8, 10), что свидетельствует о достижении равновесного состояния системы практически за один час.

С использованием всей совокупности экспериментальных данных было оценено влияние на извлечение селена степени полисульфидности и расхода реагента в программе Statistica 10 (Statsoft Inc) (рис. 2).

Соответствующее уравнение регрессии, математически описывающее влияние данных параметров на извлечение селена, имеет вид

Таблица 3

Разложение селенида меди растворами полисульфидов натрия

Номер опыта	Условия выщелачивания						Конечный раствор			Кек		
	<i>m</i> , г	C _{Se} , %	Форма S _{<i>n</i>} ²⁻	Расх., от т.н.	<i>C</i> , м/л	Ж:Т	ε _{Se} , %	<i>V</i> , мл	C _{Se} , г/л	<i>m</i> , г	Вых., %	C _{Se} , %
1	5	49,6	Na ₂ S ₂	2,0	0,9	20	48	100	11,7	4,7	96	27,0
6	5	42,0	Na ₂ S ₃	2,0	1,7	5	61	28	44,5	4,51	90	17,5
7	5	42,4	Na ₂ S ₃	4,5	1,8	10	62	50	27,3	4,59	92	18,6
8	5	49,6	Na ₂ S ₃	8,5	1,8	20	81	100	18,5	4,24	85	14,2
10	2,5	49,6	Na ₂ S _{3,5}	10	1,8	20	83*	50	20,6*	1,69	68	12,6
12	2,5	49,6	Na ₂ S ₄	12	1,8	20	74*	50	18,4*	2,07	83	15,3
16	5	49,6	Na ₂ S ₃	8,5	3,6	10	81	50	32,0	4,37	87	8,49
17	10	42,4	Na ₂ S ₃	8,5	3,6	10	79	100	34,0	8,89	89	10,36
18	5	42,0	Na ₂ S ₃	8,5	3,6	10	70	50	29,2	4,55	91	14,0
21	5	42,0	Na ₂ S ₃	8,5	3,6	10	86	50	35,0	4,32	86	6,81
22	2,5	42,0	Na ₂ S ₃	17	3,6	20	85	50	16,6	2,07	83	7,5

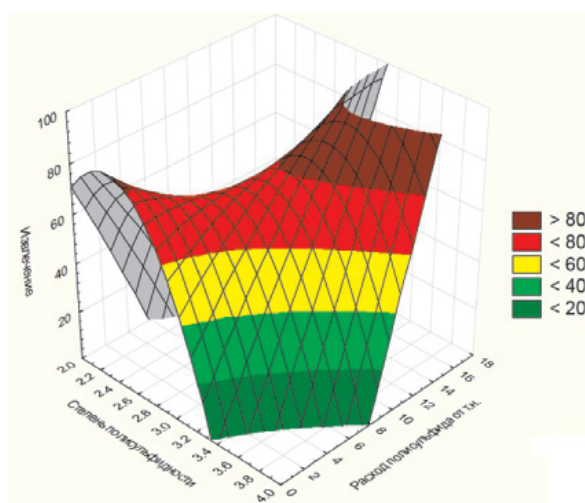


Рис. 2. Зависимость извлечения селена от степени полисульфидности и расхода реагента

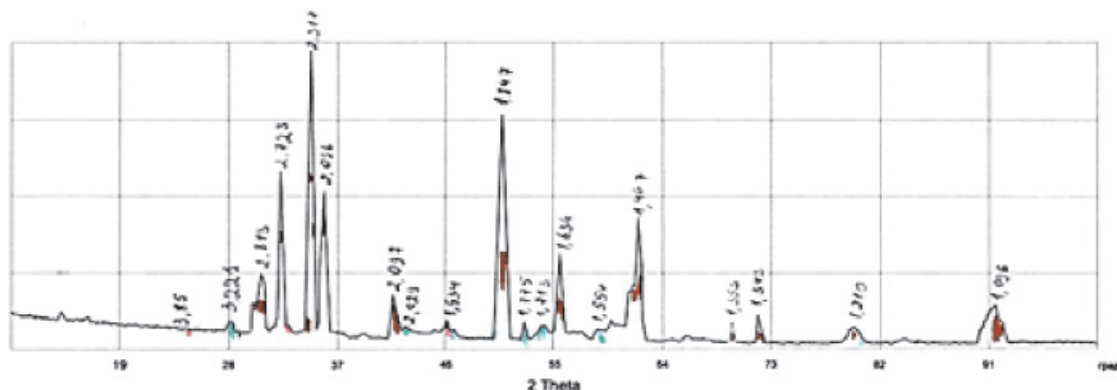


Рис. 3. Дифрактограмма осадка полисульфидного выщелачивания

Таблица 4

Выделение селена из селеносульфидов

№ п/п	Условия разложения			Нерастворимый остаток		Конечный раствор	
	$V_{p-ра}$, мл	C_{Se} , г/л	m_s , г	ε_{Se} , %	m , г	C_{Se} , г/л	V , мл
1	100	18,5	1,5	57	1,11	7,8	98
2	50	20,6	0,83	58	0,62	8,7	50
3	50	18,4	0,74	60	0,55	7,4	49

Полученные экспериментальные данные подтверждают принципиальную возможность разложения селенида меди полисульфидными растворами. Для выяснения причины неполного извлечения селена и определения его форм в нерастворимом остатке был выполнен их рентгеноструктурный анализ (рис. 3).

Установлено, что в соответствии с реакциями 2–4 преимущественной фазой в твердом остатке является сульфид меди в гексагональной модификации, а именно – ковеллин CuS . Линии селенида меди расплывчатые и четко не идентифицированы. Возможно изоморфное вхождение селена в структуру ковеллина и наоборот – серы в структуру селенида меди. Последнее предположение объясняет неполное выщелачивание селена с извлечением его в остаток 15–20 %.

Снижение температуры сульфодиселенидного раствора до 20 °С с введением серы из расчета образования пентасульфид-ионов сопровождается извлечением не более 60 % селена в нерастворимый остаток (табл. 4).

Резюмируя, можно сделать следующие выводы:

1. Расчет изменения изобарно-изотермического потенциала реакций гидрохи-

мического взаимодействия селенидов меди различной валентности с серой и полисульфидами свидетельствует об образовании в щелочной среде устойчивых сульфоселенид- и сульфодиселенид-ионов в интервале температур 298–373 К.

2. Закономерности поведения селенида меди в щелочной сернистой среде определяются степенью ее полисульфидности; применение тетрасульфидного раствора обеспечивает максимальный переход селена (до 86 %) в щелочной раствор (90 °С, 8,5-кратный избыток от теоретически необходимого, при продолжительности 3 часа) с концентрированием меди в нерастворимом остатке.

3. Согласно данным дифрактометрического анализа неполное выщелачивание селена из медного цементата обусловлено изоморфным вхождением серы в структуру селенида меди с образованием ковеллина, и наоборот – селена в структуру ковеллина, являющегося преимущественной минеральной фазой кека полисульфидного выщелачивания.

4. Снижение температуры сульфодиселенидного раствора до 20 °С с введением серы из расчета образования пентасульфид-ионов сопровождается извлечением не более 60 % селена в нерастворимый остаток.

Список литературы

1. Арешина Н.С. Извлечение селена из продуктов газоочистки ОАО «Кольская ГМК» / Н.С. Арешина, А.Г. Касиков, И.Э. Малыц, Т.Р. Зенкевич // Цветные металлы. – № 11. – 2011. – С. 62–65.
2. Букетов Е.А. Гидрохимическое окисление халькогенов и халькогенидов / Е.А. Букетов, М.З. Угорец. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 326 с.
3. Грейвер Т.Н. Селен и теллур / Т.Н. Грейвер, И.Г. Зайцева, В.М. Косовер. – М.: Metallurgija, 1977. – 296 с.
4. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М.: Химия, 1970. – 520 с.
5. Петров Г.В. Переработка медных шламов: современное состояние и перспективы / Г.В. Петров, А.А. Чернышев, А.М. Беленький // Metallurg. – 2009. – № 5. – С. 54–56.
6. Петров Г.В. Совершенствование технологии попутного получения селена при переработке анодных шламов электролиза меди / Г.В. Петров, А.А. Чернышев, Ю.В. Андреев // Записки Горного института. – 2011. – № 1. – С. 58–61.

References

1. Areshina N.S. Izvlechenie selena iz produktov gazo-ochistki ОАО «Kolskaja GMK» / N.S. Areshina, A.G. Kasikov, I.E. Malc, T.R. Zenkevich // Tsvetnye Metally (Non-ferrous metals). no. 11. 2011. pp. 62–65.

2. Buketov E.A. Hidrohimicheskoe okislenie halkogenov i halkogenidov / E.A. Buketov, M.Z. Ugorec. Alma-Ata: Nauka, 1975. 326 p.

3. Grejver T.N. Selen i tellur / T.N. Grejver, I.G. Zajceva, V.M. Kosover. M.: Metallurgija, 1977. 296 p.

4. Kireev V.A. Metody prakticheskikh raschetov v termodinamike himicheskikh reakcij / V.A. Kireev. M.: Himija, 1970. 520 p.

5. Petrov G.V. Pererabotka mednyh shlamov: sovremennoe sostojanie i perspektivy / G.V. Petrov, A.A. Chernyshev, A.M. Belenkij // Metallurg. 2009. no. 5. pp. 54–56.

6. Petrov G.V. Sovershenstvovanie tehnologii poputnogo poluchenija selena pri pererabotke anodnyh shlamov jelektroliza medi / G.V. Petrov, A.A. Chernyshev, Ju.V. Andreev // Zapiski Gornogo instituta. 2011. no. 1. p. 58–61.

Рецензенты:

Бричкин В.Н., д.т.н., заведующий кафедрой металлургии, ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург;

Бажин В.Ю., д.т.н., декан факультета переработки минерального сырья, ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург.

УДК 621.039.532.21

ЗАПАСЁННАЯ ЭНЕРГИЯ В ГРАФИТЕ, ОБЛУЧЁННОМ ДО ВЫСОКИХ ФЛЮЕНСОВ НЕЙТРОНОВ

Покровский А.С., Белан Е.П., Харьков Д.В.

АО «ГНЦ НИИАР», Димитровград, e-mail: harkov@niiar.ru

В работе приводятся результаты исследования спектра запасённой энергии образцов графита ГР-280, облучённого до флюенса нейтронов $5\text{--}32\cdot 10^{25}\text{ м}^{-2}$ при температурах 450 и 650 °С. Измерения выполнены методом дифференциальной сканирующей калориметрии с постоянной скоростью нагрева 20 °С/мин. в интервале от комнатной температуры до 1300 °С. Скорость выхода запасённой энергии, независимо от флюенса нейтронов и температуры облучения, достигает максимума приблизительно при 1100 °С, значение скорости выхода запасённой энергии при данной температуре зависит от параметров облучения и лежит в пределах 0,35–0,5 Дж/г·К. Величина общей запасённой энергии при температуре облучения 450 и 650 °С составляет 190 и 160 Дж/г соответственно. На спектре запасённой энергии выявлено 7 пиков с энергиями активации от 1,95 до 4,03 эВ/атом. Пики вызваны миграцией моно- и дивакансий и эволюцией кластерной структуры облучённого графита.

Ключевые слова: графит, нейтронное облучение, запасённая энергия, энергия активации

STORED ENERGY IN GRAPHITE EXPOSED TO HIGH FLUENCE

Pokrovskiy A.S., Belan E.P., Kharkov D.V.

Research Institute of Atomic Reactors, Dimitrovgrad, e-mail: harkov@niiar.ru

The release of stored energy from graphite has been studied by differential scanning calorimetry (heating rates were 20 °C/min.). The object of research is GR-280 graphite irradiated by fast neutrons at a BOR-60 reactor. The graphite is manufactured by standard electrode technology. The samples were irradiated in a flux of $1,5\cdot 10^{19}\text{ м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ at temperature of 450 and 650 °C. The fluence was $5\text{--}32\cdot 10^{21}\text{ н/см}^2$. Rates of release of stored energy is a maximum of 0,35–0,5 J/g·K (at temperatures ~ 1100 °C). Total stored energy release is 160–190 J/g. In this paper the classical theory of kinetic analysis is used as the basis for models applied to the study of stored energy release in irradiated graphite components. The spectra in a range from T_{irr} to 1300 °C are composed of seven peaks. These peaks correspond to activation energies of 1, 95–4,03 eV.

Keywords: graphite, neutron irradiation, stored energy, activation energy

Изучение уровня накопления и скорости выхода запасённой энергии в реакторном графите интенсивно проводилось в пятидесятых – семидесятых годах прошлого столетия в связи с серьёзными авариями, вызванными значительным самопроизвольным разогревом активной зоны газовых реакторов с графитовой кладкой при температурах, превышающих температуру эксплуатации. Так как температуры теплоносителей большинства действующих в те времена газовых реакторов были ниже 150 °С, то подавляющая часть работ была посвящена изучению уровня накопления и характеристик выхода запасённой энергии в графите, облучённом при низких температурах до флюенсов нейтронов, не превышающих $2\cdot 10^{25}\text{ м}^{-2}$.

Исследования, в которых графит был бы облучён при более высоких температурах (500–800 °С) до флюенсов нейтронов порядка 10^{26} м^{-2} , отсутствуют, что создаёт проблемы при прогнозировании последствий нарушения условий эксплуатации и аварийных ситуаций в современных реакторах с высокой температурой экс-

плуатации графитовой кладки. К таким реакторам в первую очередь относятся действующие и разрабатываемые высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем, в которых многотонная графитовая кладка эксплуатируется при температурах 250–1100 °С до флюенса нейтронов $4\cdot 10^{26}\text{ м}^{-2}$. Кроме того, данная проблема не исключена и для широко эксплуатируемых отечественных реакторов РБМК, температура эксплуатации графитовой кладки которых достигает 650–700 °С, а флюенсы нейтронов после тридцатилетней эксплуатации – $3\cdot 10^{26}\text{ м}^{-2}$.

В ряде обзорных работ [3, 5, 9], появившихся в последнее время, были предприняты попытки спрогнозировать уровень запасённой энергии в графите, облучённом при высоких температурах до высоких флюенсов нейтронов, и сделан вывод, что для однозначного решения проблемы необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Запасённая энергия связана со стабильными радиационными дефектами, которые накапливаются в решетке графита в процессе облучения. При нагреве образца выше

температуры облучения дефекты начинают отжигаться, причем каждый тип дефектов отжигается на определенной стадии, которая характеризуется температурой и энергией активации процесса. Процессы отжига радиационных дефектов хорошо изучены в графите, облучённом при температурах до 200°C, где подвижными являются только междоузельные атомы. Работ, посвящённых изучению процессов отжига в графите, облучённом при температуре выше 400°C, где стабильными остаются только вакансии и кластеры различной природы, очень мало [4, 9].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются образцы графита ГР-280, представляющие собой таблетки размером $\varnothing 6 \times 2$ мм, изготовленные методом электродной резки и облучённые в реакторе БОР60 до флюенса нейтронов $5\text{--}32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$ ($E > 0,18$ МэВ) при температурах 450 и 650°C. Образцы вырезали из графитовых блоков, произведенных по стандартной электродной технологии, подробно описанной в работах [1, 8].

Скорость выхода запасенной энергии (dS/dt) определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на установке DSC 404 C Pegasus с постоянной скоростью нагрева 20°C/мин. в потоке аргона со скоростью 70 мл/мин. Каждый эксперимент включал в себя два ДСК измерения образца до максимальной температуры (1300°C), выдержку в течение 15 мин при максимальной температуре между двумя измерениями, а также предварительный нагрев печи (без образца).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений скорости выделения запасённой энергии при отжиге образцов, облучённых при температурах 450 и 650°C, приведены на рис. 1, а и б, соответственно.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что процесс выделения запасённой энергии начинается уже при температурах, близких к температуре облучения. У образцов, облучённых при 450°C (рис. 1, а), скорость выхода запасённой энергии

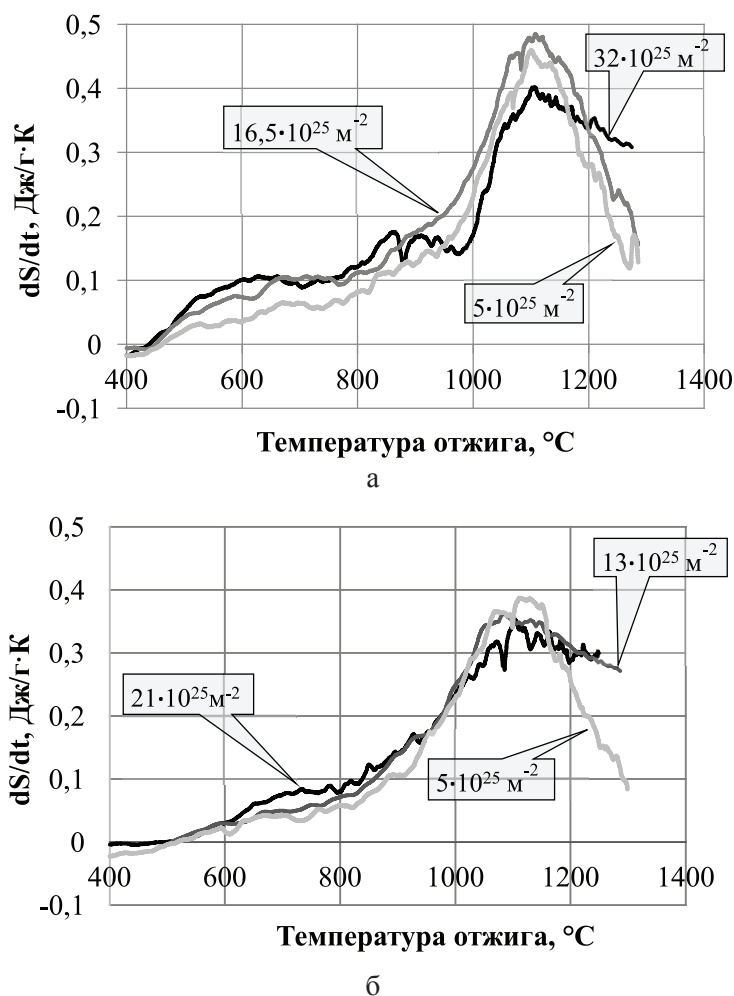


Рис. 1. Температурная зависимость скорости выделения запасённой энергии в образцах, облучённых при температуре 450°C (а) и 650°C (б). Значения флюенса нейтронов приведены на рисунке

(dS/dt) в интервале температур измерения 500–950°C немонотонно увеличивается от 0,01 до 0,15 Дж/г·К, затем на температурной кривой наблюдается резкий подъем до максимального значения 0,40–0,48 Дж/г·К при 1100°C, а при температуре выше 1100°C – спад. Величина dS/dt достигает максимума при температуре измерения 1100°C независимо от значения флюенса нейтронов. На начальном участке (в интервале температур измерения 500–900°C) скорость выхода запасенной энергии увеличивается с увеличением флюенса нейтронов, а при температуре 1100°C – уменьшается.

Температурная зависимость dS/dt образцов, облученных при 650 и 450°C, аналогична (рис. 1, а и б), однако абсолютное значение скорости выхода запасенной энергии у образцов, облученных при 650°C, во всем интервале температур измерения приблизительно на 20% ниже, чем у образцов, облученных при 450°C.

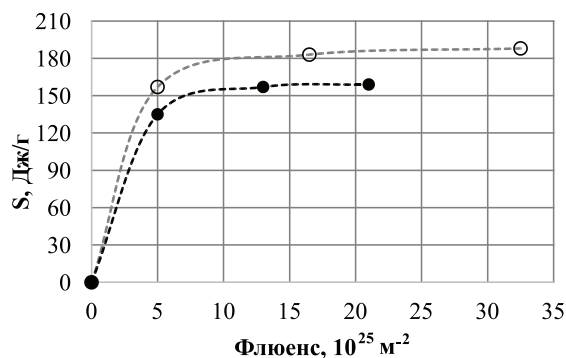


Рис. 2. Зависимость общей запасенной энергии (S), выделившейся при отжиге облученных образцов в интервале температур отжига 20–1300°C. Температура облучения образцов: ○ – 450°C, ● – 650°C

Величину общей запасенной энергии (S) в образцах определяли путем измерения площади под кривыми зависимости dS/dt от температуры отжига, приведенными на рис. 1. Значения S представлены на рис. 2, откуда видно, что величина общей запасенной энергии у образцов, облученных при температуре 450°C, сначала возрастает с увеличением флюенса нейтронов до 180 Дж/г, а затем начиная с $16 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$ уже значительно не меняется с увеличением флюенса нейтронов. У образцов, облученных при температуре 650°C, величина S близка к насыщению при флюенсах $\sim 7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$, при этом предельная величина общей запасенной энергии на 20–30 Дж/г ниже общей запасенной энер-

гии образцов, облученных при температуре 450°C до тех же доз.

Уровень выделения запасенной энергии порядка 170–200 Дж/г в интервале температур отжига 20–1300°C приводит к дополнительному разогреву графита на 150–200°C, что необходимо учитывать при обосновании безопасности эксплуатации графитовой кладки.

Кинетический анализ ДСК кривых

В работе проведен кинетический анализ ДСК кривых образца, облученного при температуре 450°C до максимального флюенса нейтронов $32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$.

Методика кинетического анализа ДСК кривых, полученных при постоянной скорости увеличения температуры образцов, подробно описана в работах [6, 7]. В предположении, что отжиг радиационных дефектов характеризуется реакцией 1 степени, зависимость скорости выделения запасенной энергии от времени при отжиге дефектов с энергией активации E и частотой ν можно описать уравнением

$$\frac{dS(E, T)}{dT} = -\frac{\nu}{a} S(E, T) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), \quad (1)$$

где $dS(E, T)/dT$ – скорость выделения запасенной энергии; E – энергия активации; ν – фактор частоты; k – постоянная Больцмана; T – температура отжига; a – скорость нагрева; $S(E, T)$ – запасенная энергия.

Решением уравнения (1) является функция

$$S(E, T) = S(E, 0) \exp\left[\frac{-\nu E}{ak} H\left(\frac{kT}{E}\right)\right], \quad (2)$$

где $H(x) = \int_0^x \exp\left(-\frac{1}{y}\right) dy$.

Полагая, что энергия активации имеет нормальное распределение с математическим ожиданием E_0 и среднеквадратическим отклонением ϵ , выражение для запасенной энергии при $T=0$ может быть записано в следующем виде:

$$S(E, 0) = \frac{S_0}{\sqrt{2\pi}\epsilon} \exp\left(-\frac{(E - E_0)^2}{2\epsilon^2}\right), \quad (3)$$

где S_0 – общая запасенная энергия.

Подставляя (2) и (3) в уравнение (1) и интегрируя полученное выражение по энергии, можно определить температурную зависимость скорости выхода запасенной энергии для i -го процесса отжига дефектов:

$$\frac{dS(E_{0i}, \epsilon_i, \nu_i, T)}{dT} = \int -\frac{\nu_i}{a} \frac{S_{0i}}{\sqrt{2\pi}\epsilon_i} \exp\left(-\frac{(E_i - E_{0i})^2}{2\epsilon_i^2}\right) \exp\left[\frac{-\nu_i E_i}{ak} H\left(\frac{kT}{E_i}\right)\right] \exp\left(\frac{-E_i}{kT}\right) dE_i. \quad (4)$$

Температурная зависимость скорости выхода запасённой энергии, получаемая в эксперименте, является результирующей (или суммарной) функцией ряда процессов с частотой ν_i , средней энергией активации E_{0i} и среднеквадратическим отклонением ε_i :

$$\frac{dS(T)}{dT} = \sum_{i=1}^n C_i \frac{dS(E_{0i}, \varepsilon_i, \nu_i, T)}{dT}, \quad (5)$$

где n – количество процессов, C_i – подгоночные коэффициенты.

При $\varepsilon_i \rightarrow 0$ уравнение (4) принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{dS(E_{0i}, \nu_i, T)}{dT} = \\ = -\frac{\nu_i}{a} S_{0i} \exp\left[\frac{-\nu_i E_{0i}}{ak} H\left(\frac{kT}{E_{0i}}\right)\right] \exp\left(-E_{0i}/kT\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Последнее выражение позволяет определить кинетические параметры ν_i и E_{0i} . Зависимость (6) достигает максимума в точке

$T = T_m$, где $\frac{d^2 S(E_{0i}, \nu_i, T)}{dT^2} = 0$, поэтому для i -го процесса отжига дефектов можно записать

$$\ln\left(a/T_m^2\right) = \ln D_i - \frac{E_{0i}}{kT_m}, \quad (7)$$

где $D_i = \frac{\nu_i k}{E_{0i}}$.

График функции (7) в координатах $\ln\left(a/T_m^2\right)$ от $\frac{1}{T_m}$ представляет собой прямую, из коэффициентов уравнения которой мож-

но определить кинетические параметры D_i (или ν_i) и E_{0i} :

$$D_i = \exp(B); E_{0i} = -Ak, \quad (8)$$

где A и B – это коэффициенты уравнения функции (7) в координатах $\ln\left(a/T_m^2\right)$ от $\frac{1}{T_m}$.

Для определения параметров ν_i и E_{0i} в работе проводились два эксперимента с разными скоростями нагрева: $a = 20^\circ\text{C}/\text{мин}$ и $a = 40^\circ\text{C}/\text{мин}$. Результаты данных экспериментов приведены на рис. 3. Наличие пиков на экспериментальных кривых позволяет предположить существование отдельных стадий (процессов) отжига.

На экспериментальных кривых было выделено 7 экстремумов (пиков) и для каждого экстремума определено свое значение T_m , что позволило построить уравнение зависимости $\ln\left(a/T_m^2\right)$ от $\frac{1}{T_m}$ (рис. 4) и опре-

делить кинетические параметры ν и E_0 . Кинетические параметры ν и E_0 , рассчитанные по данным уравнениям, представлены в таблице.

Наличие кинетических параметров ν и E_0 позволило определить вид функции (4) для каждого из семи установленных в эксперименте процессов отжига дефектов, а также рассчитать, в соответствии с выражением (5), суммарную теоретическую кривую скорости выхода запасённой энергии. Как свидетельствуют результаты расчётов, при приведенном в таблице наборе кинетических параметров расхождение экспериментальной и расчётной кривой не превышает 15%. Экспериментальная и расчётная кривые приведены на рис. 5.

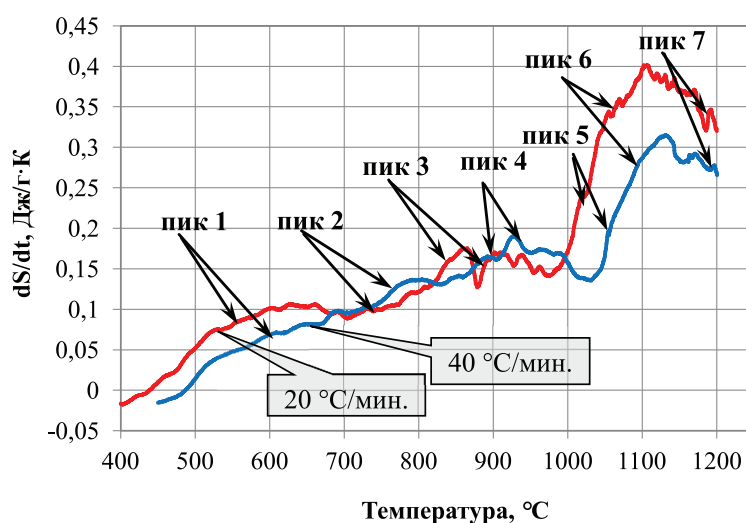


Рис. 3. Температурная зависимость скорости выделения запасённой энергии при $a = 20^\circ\text{C}/\text{мин}$ и $a = 40^\circ\text{C}/\text{мин}$

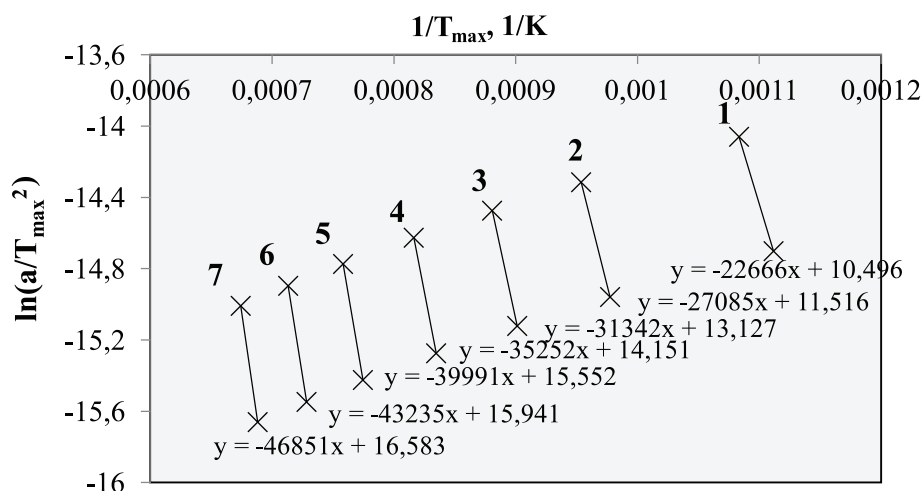


Рис. 4. Связь между скоростью нагрева и температурой, соответствующей максимуму скорости выделения запасенной энергии

Кинетические параметры процессов отжига

Номер пика	T , °C	E_0 , эВ/атом	ε , эВ/атом	ν , с ⁻¹	C_p , %
1	630	1,95	1,8E-01	8,2E + 08	40
2	750	2,33	4,7E-02	2,7E + 09	7
3	840	2,70	1,0E-03	1,6E + 10	21
4	920	3,03	6,3E-03	4,9E + 10	23
5	1020	3,44	6,9E-02	2,3E + 11	14
6	1100	3,72	1,0E-01	3,6E + 11	62
7	1180	4,03	8,1E-02	7,5E + 11	56

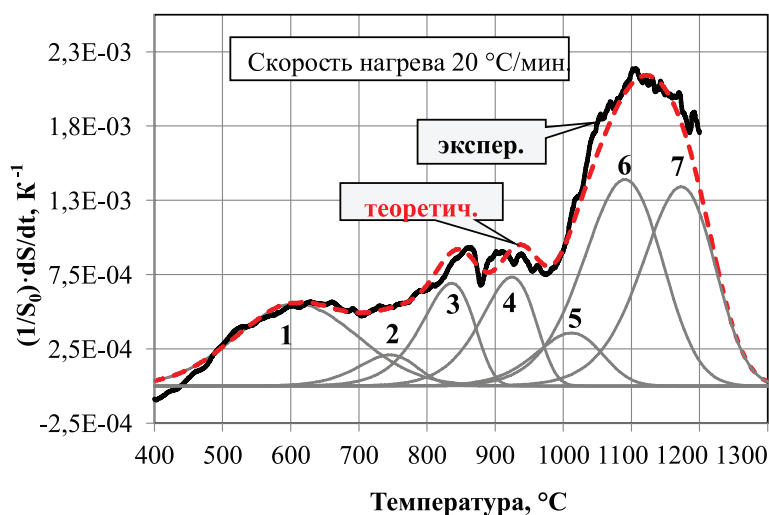


Рис. 5. Сравнение экспериментальной и теоретической кривой скорости выхода запасённой энергии в образце, облучённом при температуре 450 °C до флюенса нейтронов $32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$, значения скорости выхода запасённой энергии нормированы

Таким образом, в результате проделанного кинетического анализа было установлено, что при отжиге образца, облучённого при температуре 450 °C до флюенса ней-

тронов $32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$, на спектре запасённой энергии в интервале температур от $T_{\text{обл}}$ до 1300 °C присутствуют следующие пики: во-первых, это наиболее интенсивные пики

с E_0 , равной 3,72 и 4,03 эВ; затем пики с E_0 , равной 2,7 и 3,03 эВ, их интенсивность приблизительно в 2 раза ниже интенсивности основных пиков; два слабых пика с E_0 , равной 2,3 и 3,44 эВ; а также широкий пик ($\epsilon = 0,18$ эВ) с наименьшим значением E_0 (1,95 эВ). Знание энергий активации наблюдаемых стадий отжига позволяет сделать некоторые предположения о природе протекающих процессов.

Согласно литературным данным [3, 9], в графите при температуре облучения в диапазоне 400–500 °С междоузельные атомы в результате их низкой энергии активации уже в процессе облучения образуют крупные кластеры, перерождающиеся затем в дополнительные атомные плоскости. Вакансии, напротив, приобретают подвижность только в районе температур 500–600 °С и, следовательно, можно предположить, что первый пик, наблюдаемый при температуре 630 °С, обусловлен миграцией моновакансий. Значения энергии активации вакансий, полученные различными авторами экспериментальным путем, значительно отличаются и лежат в интервале от 1,8 до 3,6 эВ, а значения, полученные на основе квантово-механических расчетов, группируются вокруг величины 1,7 эВ [4]. В работе [2] экспериментально установлено, что энергия миграции вакансий в сильно облученном графите является переменной величиной $\sim 1,8 \pm 0,3$ эВ. Таким образом, полученные нами экспериментальные данные подтверждают выводы, что процесс отжига моновакансий имеет место в интервале температур 500–600 °С с переменной энергией активации $1,95 \pm 0,18$ эВ. Мигрирующие вакансии, взаимодействуя друг с другом, образуют дивакансии и, с меньшей вероятностью, более крупные вакансионные кластеры, при этом свободная энергия, приходящаяся на одну вакансию, уменьшается.

Процессы отжига облученного графита при температурах выше 600 °С изучены очень слабо ввиду большого количества возможных конфигураций радиационных дефектов и энергий активации процессов, связанных с этими дефектами. Процессы отжига, которые соответствуют пикам 2–4 и имеют энергию активации 2,33–3,03 эВ, можно отнести, по всей видимости, к процессам, связанным с миграцией дивакансий. В работе [4] приведены различные конфигурации дивакансий и показано, что одна из них, в так называемой трехсоседской конфигурации, может перемещаться посредством двойной трансформации в решетке графита с энергией активации

2,8 эВ, что близко к энергии активации пиков 2–4. При движении дивакансии встречаются друг с другом, образуя квадровкакансии, и с кластерами вакансионного и внедренного типов, изменяя их размер. Энергии активации этих процессов зависят также от высоты энергетического барьера, который преодолевают подвижные дивакансии при слиянии с другим дефектом, что может приводить к появлению дополнительных пиков на кривой выхода запасенной энергии, как это наблюдается в нашем случае.

В интервале температур 900–1300 °С на рис. 5 выделены три пика с энергиями активации процесса отжига 3,44–4,03 эВ соответственно. Эти значения сравнимы с расчетными значениями энергии «испарения» моновакансии из 4–6 вакансионного кластера или дислокационной петли (3,2–3,6 эВ), приведенные в работе [4]. Испарившиеся моновакансии обладают высокой подвижностью (энергия миграции равна 1,7 эВ) и сливаются с неподвижным вакансионным или междоузельным кластерами с выделением значительного количества внутренней запасенной энергии. Таким образом, мы полагаем, что в диапазоне температур 900–1300 °С происходит эволюция кластерной структуры облученного графита.

Выводы

1. Скорость выхода запасенной энергии в образцах, облученных при температурах 450 и 650 °С до флюенса нейтронов $5\text{--}32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$, достигает максимума при температуре измерения 1100 °С (при скорости нагрева 20 °С/мин). Значение максимальной скорости выхода запасенной энергии зависит от параметров облучения и лежит в пределах 0,35–0,5 Дж/г·К.

2. Величина общей запасенной энергии в образцах, облученных при температурах 450 и 650 °С, выходит на постоянный уровень при флюенсе нейтронов около $7\text{--}15 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$. Предельная величина общей запасенной энергии при температуре облучения 450 °С составляет около 190 Дж/г, а при температуре облучения 650 °С – около 170 Дж/г.

3. На спектре запасенной энергии образца, облученного при температуре 450 °С до флюенса нейтронов $32 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-2}$, в результате кинетического анализа было выявлено 7 пиков с энергиями активации от 1,95 до 4,03 эВ/атом. Пики вызваны миграцией моно- и дивакансий и эволюцией кластерной структуры облученного графита.

Список литературы

1. Вяткин С.Е. Ядерный графит / С.Е. Вяткин и др. – М.: Атомиздат, 1967. – 280 с.
2. Asari E. Thermal relaxation of ion-irradiation damage in graphite / E. Asari, M. Kitajima, K. G. Nakamura & T. Kawabe // Phys. Rev. – 1993. – Vol. 47. – P. 11143–11148.
3. Burchell T. Irradiation Damage in Graphite – from the Nano- to the Mille-Metric Scale // Technical Meeting on High-Temperature Qualification of High Temperature Gas Cooled Materials (Vienna, 10–13 Jun 2014). – Vienna, 2014. – P. 11.
4. El-Barbary A.A. First principles characterization of defects in irradiated graphitic materials: A thesis submitted towards fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy. – Sussex, 2005. – 171 p.
5. Gallego N.C. A Review of Stored Energy Release of Irradiated Graphite / N.C. Gallego, T.D. Burchell // Milestone Report on the Workshop on HTGR Graphite Stored Energy Release, ORNL/TM-2011/378 (Oak Ridge, September 2011). – Oak Ridge, 2011. – P. 55.
6. Iwata, T. Fine structure of Wigner energy release spectrum in neutron irradiated graphite // J. Nucl. Mater. – 1985. – Vol. 133&134. – P. 361–364.
7. Lasithiotakis M. Application of an independent parallel reactions model on the annealing kinetics of BEPO irradiated graphite / Michael Lasithiotakis, Barry J. Marsden, T. James Marrow // J. Nucl. Mater. – 2012. – Vol. 427. – P. 95–109.
8. Nightingale R. Nuclear graphite / R. Nightingale. – London: Academic Press, 1962. – 547 p.
9. Telling R.H. Radiation defects in graphite / R.H. Telling, M.I. Heggie // Phil Mag. – 2007. – Vol. 87. – P. 797–846.

References

1. Vjatkin S.E. Jadernyj grafit / S.E. Vjatkin i dr. M.: Atomizdat, 1967. 280 p.
2. Asari E. Thermal relaxation of ion-irradiation damage in graphite / E. Asari, M. Kitajima, K. G. Nakamura & T. Kawabe // Phys. Rev. 1993. Vol. 47. pp. 11143–11148.
3. Burchell T. Irradiation Damage in Graphite from the Nano- to the Mille-Metric Scale // Technical Meeting on High-

Temperature Qualification of High Temperature Gas Cooled Materials (Vienna, 10–13 Jun 2014). Vienna, 2014. pp. 11.

4. El-Barbary A.A. First principles characterization of defects in irradiated graphitic materials: A thesis submitted towards fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy. Sussex, 2005. 171 p.

5. Gallego N.C. A Review of Stored Energy Release of Irradiated Graphite / N.C. Gallego, T.D. Burchell // Milestone Report on the Workshop on HTGR Graphite Stored Energy Release, ORNL/TM-2011/378 (Oak Ridge, September 2011). Oak Ridge, 2011. pp. 55.

6. Iwata, T. Fine structure of Wigner energy release spectrum in neutron irradiated graphite // J. Nucl. Mater. 1985. Vol. 133&134. pp. 361–364.

7. Lasithiotakis M. Application of an independent parallel reactions model on the annealing kinetics of BEPO irradiated graphite / Michael Lasithiotakis, Barry J. Marsden, T. James Marrow // J. Nucl. Mater. 2012. Vol. 427. pp. 95–109.

8. Nightingale R. Nuclear graphite / R. Nightingale. London: Academic Press, 1962. – 547 p.

9. Telling R.H. Radiation defects in graphite / R.H. Telling, M.I. Heggie // Phil Mag. 2007. Vol. 87. pp. 797–846.

Рецензенты:

Неустроев В.С., д.т.н., ведущий научный сотрудник Отделения реакторного материаловедения, АО «Государственный научный центр Научно-исследовательский институт атомных реакторов», предприятие Госкорпорации «Росатом», г. Димитровград;

Кобылянский Г.П., д.т.н., ведущий научный сотрудник Отделения реакторного материаловедения, АО «Государственный научный центр Научно-исследовательский институт атомных реакторов», предприятие Госкорпорации «Росатом», г. Димитровград.

УДК 621.396.62

НАНОКЛАСТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ КОЛЕЦ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

¹Рау В.Г., ²Никитин О.Р., ²Рау Т.Ф., ³Ломтев Л.А., ²Горшков К.А.

¹Владимирский филиал РАНХиГС при президенте РФ, Владимир, e-mail: vgrau@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: godograf@list.ru;

³ООО «Магнетон», Владимир, e-mail: leontijlomtev@rambler.ru

Работа посвящена исследованию и компьютерному моделированию элементов нанокластерных систем «цветных» циклических разбиений (колец), используемых в качестве компонентов электронных и радиотехнических систем. Рассмотрены комбинаторные методы перечисления циклических разбиений (колец). Предложен алгоритм перебора структур «цветных» колец, а также подход к классификации структур колец на основе групп симметрии подстановок. На примере кольца Ааронова–Бома представлен частный случай цветного кольца, структура и свойства которого определены симметрией распределения «нагруженных» точек и её нарушениями (преобразованиями). Приведены примеры нанокластеров, рассчитанных на основе информации баз данных рентгеноструктурного анализа. Рассмотрены проблемы контактов в наноструктурной системе, связанные с нарушением транспорта электронов в электронных устройствах, собранных на наноуровне, и проблемы «сборки» колец в нанотехнологии.

Ключевые слова: циклическое разбиение, квантовое кольцо, группы подстановок, «цветное» кольцо, нанокластеры, компьютерное моделирование

NANO-CLUSTER CIRCULAR SYSTEMS FOR THE ELECTRONICS

¹Rau V.G., ²Nikitin O.R., ²Rau T.F., ³Lomtev L.A., ²Gorshkov K.A.

¹The Russian Presidential academy of national economy and public administration, Vladimir, e-mail: vgrau@mail.ru;

²Vladimir State University n.a. A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: godograf@list.ru;

³ООО «Mageton», Vladimir, e-mail: leontijlomtev@rambler.ru

This article is dedicated to the research and the computer aided elements' modelling of the nano-cluster system's of the «coloured» cyclical divisions (circles), which are used as a components in the electronic and radio-technical systems. Discussed were the combinatoric methods of the counting of the cyclical divisions (circles). A listing algorithm of the structure of «coloured» circles has been introduced, as well as a new approach to the classification of the circles' structure based upon the symmetrical substitution groups. As an example was used the Aharonov-Bohm's circle, which represents a particular «coloured» circle, the structure and specific qualities of which are determined by the symmetrical division of the occupied points and the disturbances (transfigurations) of such symmetry. Additionally the problems of the contacts in the nano-structure system caused by a disturbance of the transportation of the electrons in the electronic devices compiled on the nano-levels was discussed, as well as the problems of the nano-technological «constructing» of such circles.

Keywords: cyclical division, quantum circle, substitution groups, «coloured» circle, nano-clusters, computer aided modelling

Циклические разбиения

При переходе в радиосхемах с макро- на микро-, а затем на наноуровень модель кольца приобретает все более важное значение. На макроуровне любую электрическую цепь (со времен Кирхгоффа) и простую радиосхему для необходимых расчетов принято заменять модельной системой сопряженных замкнутых цепей, циклов (колец) и рассчитывать, исследовать или реально собирать циклы в отдельности. Теоретически каждая фиксированная «цветная» точка кольца может определять функцию элемента кольца (резистора, конденсатора, источника, выпрямителя, транзистора и др.) или соответствовать материалу (проводнику, диэлектрику и пр.). Анализ и компьютерное моделирование

колец и их наноструктурных элементов составляет цель данной работы.

Комбинаторные методы перечисления циклических разбиений (колец)

На первом этапе исследований колец возникла задача перечисления циклических разбиений с заданным количеством точек двух сортов (двухцветные разбиения): занятых и не занятых атомами позиций в структуре цикла, названных циклотомическими наборами точек. Исследования, проведенные в рентгеновском структурном анализе (РСА) кристаллов Паттерсоном, Хоземаном и Бахчи, Бюргером и др., завершились работой [5] по перечислению «двухцветных» целочисленных циклических разбиений. Кратко представим полученные результаты.

Для перечисления разбиений N_v^k заданного периода v , содержащего k – занятых позиций точек, использовались комбинаторные методы теории чисел [10]. Было показано (теорема 1 в [5]), что каждой блок-схеме с автоморфизмом $a: a_{ij} + 1 \rightarrow a_{i+1,j}; B_{i,k} \rightarrow B_{i+1,k}$, переставляющим как элементы a_{ij} , так и блоки $B_{i,k}$ блок-схемы по циклу длины v , соответствует один и только один циклотомический набор, а поэтому число блок-схем из множества $E = \{0, 1, \dots, v-1\}$ с $|E| = v$ равно количеству циклических разбиений N_v^k . После преобразований получено

$$N_v^k = \frac{1}{k} \sum_{d|n} \varphi(d) C_{\frac{v}{d}-1}^{\frac{k}{d}-1}.$$

Во всех этих работах конкретные структуры колец были представлены не достаточно полно. Классификация и анализ структур цветных колец, в которых точками являются модели нанокластеров, явились целью проведения исследований, представленных в данной работе.

Компьютерный перебор структур цветных колец на основе групп подстановок

На начальном этапе исследований цветных колец, как и в случае с циклотомическими двухцветными наборами точек, предлагается способ расчета структур многоцветных циклических разбиений и их классификация на основе симметрии групп подстановок. Из теории групп [7] известно,

что $N!$ перестановок N чисел составляет их наибольшее количество и принадлежит полной группе симметрии перестановок чисел. Полная группа разбивается на подгруппы порядка p . Элемент подгруппы перестановки будет соответствовать определенной структуре кольца, если каждому числу на кольце однозначно поставить в соответствие число в перестановке. В то же время каждой перестановке соответствует собственная внутренняя структура, которую можно представить в виде произведения подциклов.

Считая точки, принадлежащие одному подциклу, идентичными, то есть имеющими один и тот же цвет, получаем разбиение перестановки на цветные подциклы. Каждая подгруппа, содержащая p элементов (порядок группы), определяет количество структур колец с общей симметрией этой группы. Таким образом, получаем возможность для классификации структур колец по их принадлежности к одной подгруппе, а цветные подциклы в подстановке позволяют определять структуру цветного кольца. Для вывода преобразований симметрии подгруппы подстановок и построения групповой таблицы Кэли была составлена программа перемножения элементов группы. Произведение матриц перестановок в программе реализуется по правилу: «левая» подстановка умножается на «правую». В качестве примера может служить операция произведения двух подстановок с числом элементов $N = 8$ следующим образом:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 5 & 4 & 7 & 6 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 0 & 3 & 2 & 5 & 4 & 7 & 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 1 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}.$$

Таблица 1

Таблица Кэли для подгруппы подстановок с $N = 8$

$g[0] = (0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7);$	$g[0]$	$g[1]$	$g[2]$	$g[3]$	$g[4]$	$g[5]$	$g[6]$	$g[7]$
$g[1] = (4\ 5\ 6\ 7\ 1\ 0\ 3\ 2);$	$g[1]$	$g[2]$	$g[3]$	$g[0]$	$g[5]$	$g[6]$	$g[7]$	$g[4]$
$g[2] = (1\ 0\ 3\ 2\ 5\ 4\ 7\ 6);$	$g[2]$	$g[3]$	$g[0]$	$g[1]$	$g[6]$	$g[7]$	$g[4]$	$g[5]$
$g[3] = (5\ 4\ 7\ 6\ 0\ 1\ 2\ 3);$	$g[3]$	$g[0]$	$g[1]$	$g[2]$	$g[7]$	$g[4]$	$g[5]$	$g[6]$
$g[4] = (6\ 7\ 5\ 4\ 2\ 3\ 1\ 0);$	$g[4]$	$g[7]$	$g[6]$	$g[5]$	$g[2]$	$g[1]$	$g[0]$	$g[3]$
$g[5] = (2\ 3\ 1\ 0\ 7\ 6\ 4\ 5);$	$g[5]$	$g[4]$	$g[7]$	$g[6]$	$g[3]$	$g[2]$	$g[1]$	$g[0]$
$g[6] = (7\ 6\ 4\ 5\ 3\ 2\ 0\ 1);$	$g[6]$	$g[5]$	$g[4]$	$g[7]$	$g[0]$	$g[3]$	$g[2]$	$g[1]$
$g[7] = (3\ 2\ 0\ 1\ 6\ 7\ 5\ 4);$	$g[7]$	$g[6]$	$g[5]$	$g[4]$	$g[1]$	$g[0]$	$g[3]$	$g[2]$

В соответствии с теоремами, доказательство которых приведено в учебной литературе по теории групп, разбиение подстановки на замкнутые подциклы можно произвести так, как это показано для левой матрицы в приведенном выше равенстве. Действительно, $0 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 0$, и $2 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2$. Образуется два подцикла, и подстановка дает следующий результат: $(54760123) = (0514)(2736)$. Поскольку операция перестановки разбилась на два подцикла, можем считать её двухцветной. В программе выбираются перестановки, которые принадлежат одной подгруппе, а затем автоматически составляется соответствующая таблица умножения группы – таблица Кэли (табл. 1).

структуры каждой подстановки в модели периодического разбиения двумерного пространства. По теореме об изоморфизме конечных групп симметрии и групп перестановок «визуализировать» можно любую абстрактную конечную группу, зная вид ее таблицы Кэли, что было ранее продемонстрировано в работе [8]. Циклическое одномерное разбиение позволяет предложить еще один более простой, но не менее важный в приложениях способ «визуализации» подгруппы (рис. 1).

Квантовое кольцо [1]

На микроуровне электронному транспорту в квантовых кольцах при наличии точечных рассеивающих центров, в качестве которых могут выступать одиночные

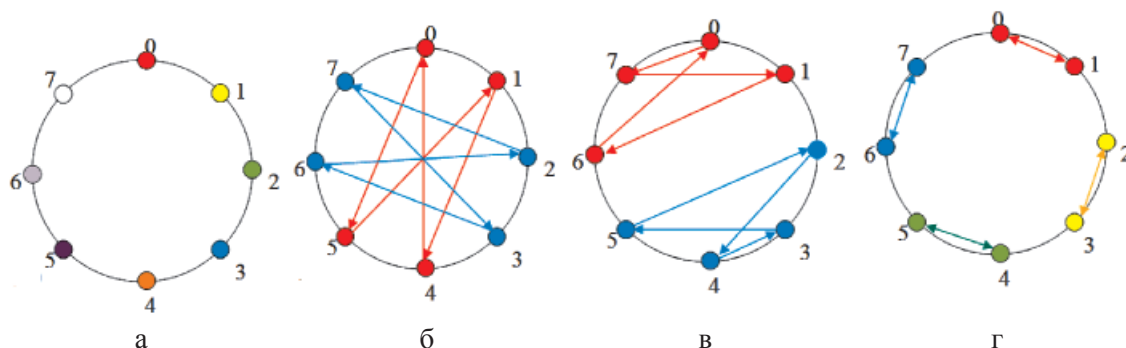


Рис. 1. Элементы подгруппы подстановок кольца (выделены трансляционно не эквивалентные цветные кольца – «ожерелья» из таблицы Кэли (табл. 1):

а – $01234567 = (0)(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)$ – восьмицветное преобразование; б – $54760123 = (0514)(2736)$ – двухцветное преобразование; в – $76453201 = (0716)(2435)$ – двухцветное преобразование; г – $10325476 = (01)(23)(45)(67)$ – четырехцветное преобразование

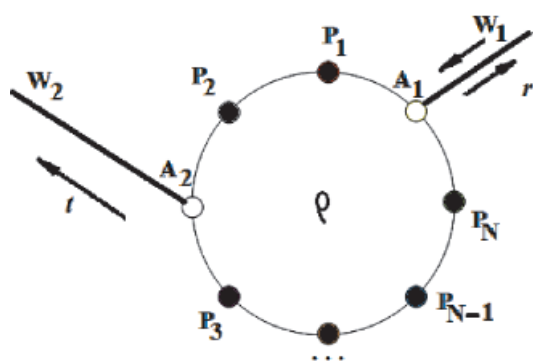


Рис. 2. Кольцо Ааронова – Бома с двумя присоединенными проводниками и примесями на кольце (A_i – точки соединения проводников с кольцом, P_i – точки нахождения примесей W_j – проводники

Добавление к подгруппе операции подстановки, не принадлежащей этой подгруппе, приводит к расширению подгруппы. В программе предусмотрено также графическое представление («визуализация»)

примеси или наномерные «квантовые точки», посвящено много работ. Так, например, в работе [1] рассмотрена система, состоящая из кольца Ааронова – Бома радиуса ρ с прикрепленными к нему одномерными проводниками W_1 и W_2 (рис. 2).

Точки контактов между проводниками и кольцом обозначены A_1 и A_2 . Рассмотрен случай, когда на кольце имеется N короткодействующих рассеивающих центров. Проводники моделируются положительными полуосями $x \geq 0$.

Кольцо помещено в магнитное поле B , перпендикулярное плоскости кольца. В системе реализуется одномерный режим электронного транспорта и все транспортные характеристики системы определяются единственным коэффициентом прохождения электрона (кондактансом). В работе получены аналитические выражения для коэффициента прохождения и исследована зависимость электронного транспорта от энергии электронов, от величины внешнего магнитного поля и от положения

примесей. В этой задаче представлен частный случай цветного кольца, у которого структура и свойства определены симметрией распределения «нагруженных» точек и ее нарушениями (преобразованиями).

Проблема контактов в наноструктурной системе и кластерные элементы кольца

Нарушения транспорта электронов могут существенно сказываться на работе электронных устройств, собранных на наноуровне. Причины, приводящие к нарушению стабильности работы устройств, можно в этом случае классифицировать на «внешние» и «внутренние». Внутренние причины связаны, в первую очередь, с возможностью получения бездефектных проводников и квантовых точек (нанокластеров), а затем с технологией сборки в местах контактов, то есть с такой же проблемой, с которой столкнулась в начале своего развития микроэлектроника (нобелевская лекция Ж.И. Алферова). Действительно, и квантовая точка в кольце, и проводник на наноуровне представляют собой наноструктуры, и каким образом кластер будет контактировать с мифической полуплоскостью проводника, с точки зрения технологии не совсем понятно. И квантовая точка при сборке цветного кольца, и проводник в этом случае представляют собой наноразмерные кластеры, а их геометрия (расположение и координаты атомов в различных плоско-

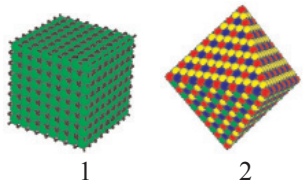
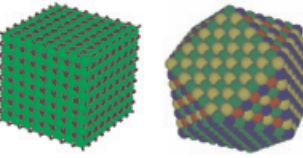
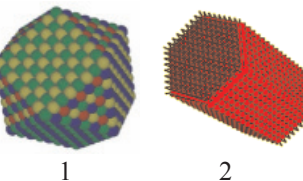
стях) будет существенно влиять на транспортные свойства электронов.

В любом случае необходим априорный компьютерный эксперимент, определяющий – хотя бы на уровне геометрии, но близкий к реальным условиям – результат взаимодействия наноструктур при их контакте. С этой целью на основе расширения разработанной ранее авторами [5] компьютерной программы создана новая программа, имитирующая процесс сборки реальных (или модельных) нанокластеров определенного состава в рамках одно- или многоцентровой задачи зарождения структур. В многоцентровой задаче предусмотрено три варианта расчета: первый: НП – однокомпонентный со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени начала роста, второй: НП – однокомпонентный с фиксированной ориентацией центров зарождения и третий: НП – многокомпонентный (гетерофазный) со случайной ориентацией центров зарождения в случайные моменты времени.

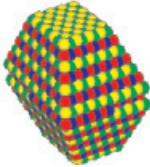
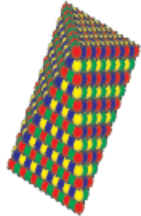
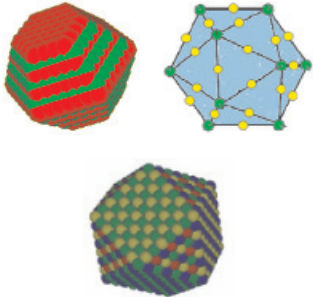
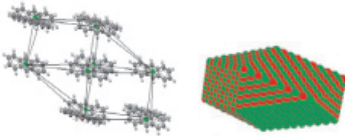
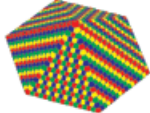
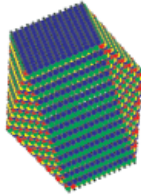
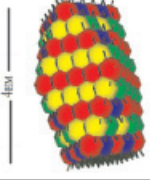
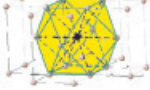
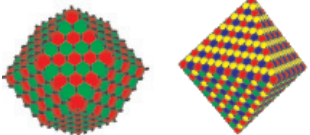
Сложность проектирования конкретных схем и их сборки на технологическом уровне связана с отсутствием сколько-нибудь полного банка структур не только реальных, но и модельных нанокластеров. Результаты применения нами методики моделирования отдельных нанокластеров на основе информации баз данных PCA позволили рассчитать структуры отдельных нанокластеров, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Нанокластеры, рассчитанные на основе информации баз данных PCA

№ п/п	Химсостав (формульные единицы); пространственная группа симметрии	Кластерная геометрическая модель	Последовательность чисел заполнения k -й поверхности кластера «магические числа»	Публикация
1	2	3	4	5
1.	Галит (поваренная соль) 1. $(\text{NaCl})_2$ – димер. 2. (NaCl) – диполь пр. гр. $Fm3m$		Куб (гексаэдр) $6k^2 + 2$; Октаэдр $4k^2 + 2$ (PCA)	[9]
3.	Теллурид свинца PbTe , $(\text{PbTe})_2$ пр. гр. $Fm3m$		Куб (гексаэдр) $6k^2 + 2$, или кубоокта – эдр $10k^2 + 2$ (PCA.ЭМ)	[3]
	1. Металлическая медь Cu , Ag и др. пр. гр. $Fm3m$, 2. Магний Mg_2 пр. гр. $P6(3)mmc$		1. Кубооктаэдр $10k^2 + 2$. 2. Гексагональная призма $18k^2 + 2$ (PCA)	Не опубли- ковано

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
	Сера молекулярная S_8 пр.гр. $P2/c$		«Скошенная» дипирамида (PCA) $14k^2 - 2$	[6]
	Оксид алюминия пр. гр. $R3c$		«Скрученная» тригональная призма (PCA) $4k^2 + 2$	[4]
6.	Цинк, магний, кадмий, оксид цинка пр.гр. $P6(3)mmc$;		Либо «скошенная» гексагональная дипирамида (PCA, ЭМ): 1, 12, 44, 96, 170, 264, ... либо икосаэдр либо кубооктаэдр (масс-спектр Mg): $10k^2 + 2$.	[3]
7.	Антрацен пр.гр. $P2_1/a$		Вытянутый кубооктаэдр: $10k^2 + 2$ (PCA)	[4]
9.	Декакарбамид нитрата кобальта пр. гр. $P1$.		Искаженная гексагональная дипирамида $6k^2 + 2$ (PCA)	[9]
10.	Тетракарбамид нитрата кобальта пр. гр. $P2_1/c$		$4k^2 + 2: 6, 38, 102, \dots$ $8k^2 + 2: 10, 34, 74, \dots$ (PCA)	[9]
11.	Йод молекулярный I_2 пр. гр. $V mab$		Вытянутый кубооктаэдр $10k^2 + 2$ (PCA)	[3]
12.	Индий пр.гр. $P4(2)nnm$		Вытянутый кубооктаэдр $10k^2 + 2$ (PCA)	[3]
	Натрий пр.гр. $I m3m$		Ромбододекаэдр или октаэдр $12k^2 + 2$ (PCA)	[3]

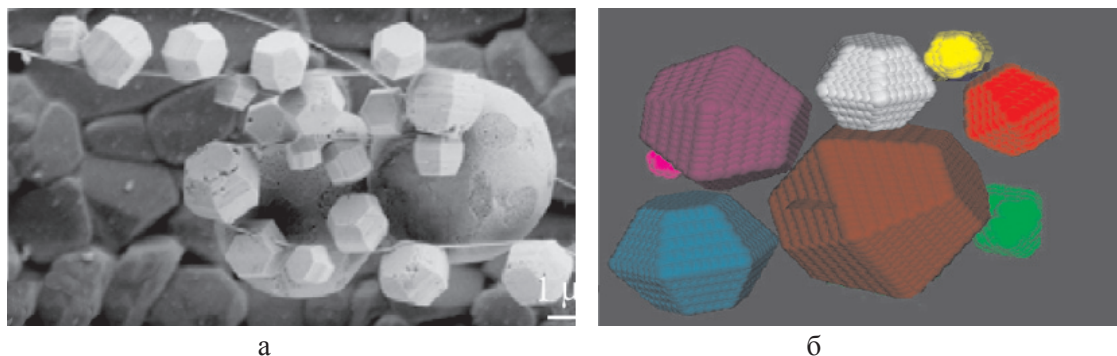


Рис. 3. а – нанокластеры оксида цинка (размерами около 500нм) в электронной микроскопии [Zhong Lin Wang // *J. Phys. Condens. Matter*. 2004, 16, R829-R858.]; б – рассчитанные в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров ZnO (ранее не опубликовано)

К сожалению, прямых экспериментальных доказательств существования нанокластеров, модели которых приведены в табл. 2, пока существует мало. В качестве одного из примеров приведем фотографию реального эксперимента по веществу оксида цинка, полученную методами электронной микроскопии (рис. 3, а) и модельное изображение нанополикристалла (рис. 3, б), полученное по результатам компьютерного эксперимента в программе моделирования многоцентровой задачи зарождения кластеров.

Выводы

Внешние причины нарушения работы электронных устройств достаточно подробно рассмотрены нами ранее в работе [3]. Сюда в первую очередь относятся изменения свойств и структуры нанокластеров под влиянием всех видов космического излучения. Исходя из выводов, сделанных в рассмотренной выше теоретической работе [1], следует добавить к выводам, сделанным в статье [3], негативную возможность воздействия сильных магнитных полей на транспорт электронов в нанокластерных системах колец.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02-97504.

Список литературы

1. Кокорева М.А., Маргулис В.А., Пятаев М.А. Резонансы Нано в электронном транспорте через квантовое кольцо с примесями // *Физико-математические науки. Физика*. – 2010. – № 1(13). – С. 109–117.
2. Малеев А.В., Журавлев В.Г., Шутов А.В., Рау В.Г. Программный комплекс для исследования координационных окружений в модели послойного роста графов связности // Патент ВлГУ им Столетовых № 2013617161. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619399, 03.10. 2013.
3. Никитин О.Р., Горшков К.А., Али Аббас Мохсин Али, Рау Т.Ф., Рау В.Г. Наноструктурное исследование превращений в устройствах с радиоактивными нанокластерами // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 5 (5). – С. 964–968.
4. Никитин О.Р., Рау В.Г., Скворцов К.В., Ломтев Л.А.. Органические полупроводники. Антрацен в компьютерном наноскопе // *Известия Института Инженерной Физики. Серпухов*. – 2009. – № 4. (14). – С. 15–20.
5. Рау В.Г., Пархомов Л.Г., Илюхин В.В., Белов Н.В. // *ДАН СССР*. – 1980. – Т.255. – № 4. – С. 859.
6. Рау В.Г., Скворцов К.В., Потехин К.А., Малеев А.В. Геометрический анализ моделей молекулярных нанокластеров серы (S8)х в компьютерном эксперименте. // *Журнал*

«Структурная химия», Новосибирск, Изд. СО РАН, Том 52. – 2011. – № 4. – С. 781–786.

7. Холл М. Комбинаторика. – М.: Мир, 1970. – 424 с.
8. Valery G. Rau, Leonty A. Lomtev and Tamara F. Rau Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces. // *Symmetry (USA)* – 2013. – № 5. – P. 54–80.
9. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl Type. // *Crystallography Reports*, 2009, Vol. 54, no. 7. pp. 28–34. ISSN 1063-7745.

References

1. Kokoreva M.A., Margulis V.A., Pjataev M.A. Rezonansy Nano v jelektronnem transporte cherez kvantovoe kolco s primesjami // *Fiziko-matematicheskie nauki. Fizika*. 2010 no. 1(13) pp. 109–117.
2. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM no. 2013619399, 03.10. 2013. Maleev A.V., Zhuravlev V.G., Shutov A.V., Rau V.G. Programmnyj kompleks dlja issledovaniya koordinacionnyh okruzenij v modeli poslojnogo rosta grafov svjaznosti // Патент ВлГУ им Столетовых № 2013617161.
3. Nikitin O.R., Gorshkov K.A., Ali Abbas Mochsin Ali, Rau T.F., Rau V.G. Nanostруктурное issledovanie prevrashhenij v ustrojstvah s radioaktivnymi nanoklasteram // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2014. no. 5 (5) pp. 964–968.
4. Nikitin O.R., Rau V.G., Skvorcov K.V., Lomtev L.A.. Organicheskie poluprovodniki. Antracen v kompjuternom nanoskopke // *Izvestiya Instituta Inzhenernoj Fiziki. Serpuhov*. 2009 no. 4 (14) pp. 15–20.
5. Rau V.G., Parhomov L.G., Iljuhin V.V., Belov N.V. // *DAN SSSR*. 1980. T. 255. no. 4. pp. 859.
6. Rau V.G., Skvorcov K.V., Potehin K.A., Maleev A.V. Geometricheskij analiz modelej molekulyarnykh nanoklasteroj sery (S8)h v kompjuternom jeksperimente // *Zhurnal «Strukturnaja himija»*, Novosibirsk, Izd. SO RAN, T. 52. 2011 no. 4. pp. 781–786.
7. Holl M. Kombinatorika. M.: Mir, 1970 424 p.
8. Valery G. Rau, Leonty A. Lomtev and Tamara F. Rau Non-Crystallographic Symmetry in Packing Spaces // *Symmetry (USA)* 2013 5 pp. 54–80.
9. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. Geometrical Aspect of Solving the Problem of Real Structure Growth on the Model of Alkali Metal Halides of the NaCl Type // *Crystallography Reports*, 2009, Vol. 54, no. 7. pp. 28–34. ISSN 1063-7745.

Рецензенты:

Полушин П.А., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир;
 Легаев В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой приборостроения и информационно-измерительных технологий, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир.

УДК 331.45:621.311.4-52

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ НА УСЛОВИЯ ТРУДА ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА

Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Бедретдинов Р.Ш.

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

В статье выполнен анализ возможного воздействия электрооборудования цифровой трансформаторной подстанции (ЦТП) 10/0,4 кВ на условия труда обслуживающего персонала. Шум, электромагнитное поле и опасность поражения электрическим током – основные факторы, влияющие на производительность труда и здоровье человека. Дано описание источников вредного воздействия ЦТП. Проведена оценка уровня шума на рабочем месте. Выполнен расчет напряженности электрического и магнитного полей, создаваемых электрооборудованием. Определен емкостной ток, проходящий через человека в землю, вблизи действующей электроустановки переменного тока. Расчеты проведены для сухих трансформаторов мощностью 400 кВА и тиристорных регуляторов напряжения, установленных в нейтрали первичных обмоток трансформатора. Результаты исследований показали, что работа ЦТП не ухудшает условий труда обслуживающего персонала. Полученные значения шума и электромагнитного поля не превышают нормируемых значений согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» и СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, шум, электромагнитное поле, магнитное поле, электрический ток, вредное воздействие, условия труда

STUDY THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION WORKING CONDITIONS CREW

Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Bedretdinov R.S.

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

This article gives an analysis of the possible impact of digital electrical transformer substation (TSC) 10/0,4 kV on the working conditions of staff. Noise, electromagnetic fields and the risk of electric shock – the main factors affecting the productivity and health. The description of the sources of the harmful effects of TSC. The estimation of the noise level in the workplace. The calculation of the electric and magnetic fields produced by electrical equipment. Defined capacitive current passing through the human into the ground near the existing electrical alternating current. The calculations were performed for dry-type transformers 400 kVA and thyristor voltage regulators of the neutral primary windings of the transformer. The results showed that the work of TSC does not worsen working conditions of staff. The obtained values of noise and electromagnetic fields do not exceed standardized values according to SN 2.2.4/2.1.8.562-96 «Noise in the workplace, in residential and public buildings and residential areas» and SanPiN 2.2.4.1191-03 «Electromagnetic fields in working conditions».

Keywords: transformer substation, noise, electromagnetic field, magnetic field, electric current, adverse effects, working conditions

Разработка и внедрение цифровых трансформаторных подстанций (ЦТП) [1] требует решения ряда проблем, одной из которых является оценка воздействия ЦТП на условия труда обслуживающего персонала. Опытный образец ЦТП 10/0,4 кВ функционирует в составе системы электроснабжения НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Силовая часть опытного образца ЦТП состоит из двух силовых трансформаторов: марки ТСЗ-400/10 (трансформатор трехфазный сухой защищенного исполнения) и ТСЗН-400/10 (трансформатор трехфазный сухой защищенного исполнения с расщепленной обмоткой высокого напряжения и устройством автоматического регулирования напряжения под нагрузкой (АРПН) – блоком тиристоров для бесконтактного

переключения регулировочных отводов трансформатора).

Согласно ГОСТ 12.0.003-74* ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» к основным вредным и опасным факторам, влияющим на производительность труда и здоровье человека, относятся: шум, электрическое и магнитное поле промышленной частоты, опасность поражения электрическим током.

Шум ЦТП

Шум от работы силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации на промышленных предприятиях и в жилых районах, неблагоприятно воздействует на здоровье человека, вызывая: снижение слуховой чувствительности; изменение функции

пищеварения; сердечно-сосудистую недостаточность; нейроэндокринные расстройства; раздражительность; головные боли, бессонницу; головокружение; повышенную утомляемость; снижение памяти; стресс.

Так как тиристорные коммутаторы обеспечивают мягкую коммутацию без экстратов и при своей работе не оказывают шумового воздействия, то основным источником шума на ТП являются силовые трансформаторы. В работе [2] проведен расчет уровня шума для двухтрансформаторной подстанции. На рис. 1 приведена зависимость уровня шума от удаленности расчетной точки до источника шума с разных сторон ТП.

Результаты расчета показали, что суммарный уровень шума от ТП как внутри, так и вне помещения не превышает допустимых пределов [3].

Электромагнитное поле

В процессе эксплуатации высоковольтных установок происходит воздействие электромагнитного поля промышленной частоты, которое вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, что проявляется в виде повышенной утомляемости, головных болей, из-

менения кровяного давления, сердцебиения и аритмии.

Основными источниками электромагнитного поля промышленной частоты на ЦТП являются силовые трансформаторы, тиристорные коммутаторы и высоковольтные кабельные линии. В работе проведены исследования и сравнительная оценка влияния электромагнитного поля ЦТП с существующими ТП. Расчет напряженности электрического (Е) и магнитного (Н) полей проведен для трех возможных вариантов состава трансформаторного оборудования (рис. 2):

- два сухих трансформатора ТСЗ-400/10;
- трансформатор ТСЗН-400/10 с тиристорным регулятором КТ-400/10 и трансформатор ТСЗ-400/10;
- два трансформатора ТСЗН-400/10 с тиристорными регуляторами КТ-400/10.

Вариант с двумя трансформаторами ТСЗН и тиристорными коммутаторами является наиболее полным с точки зрения состава оборудования, поэтому выполнены исследования влияния электромагнитного поля именно для этого случая, по результатам которого проведена оценка напряженности электрического и магнитного полей для двух оставшихся вариантов. Расчетная структурная схема ЦТП показана на рис. 3.

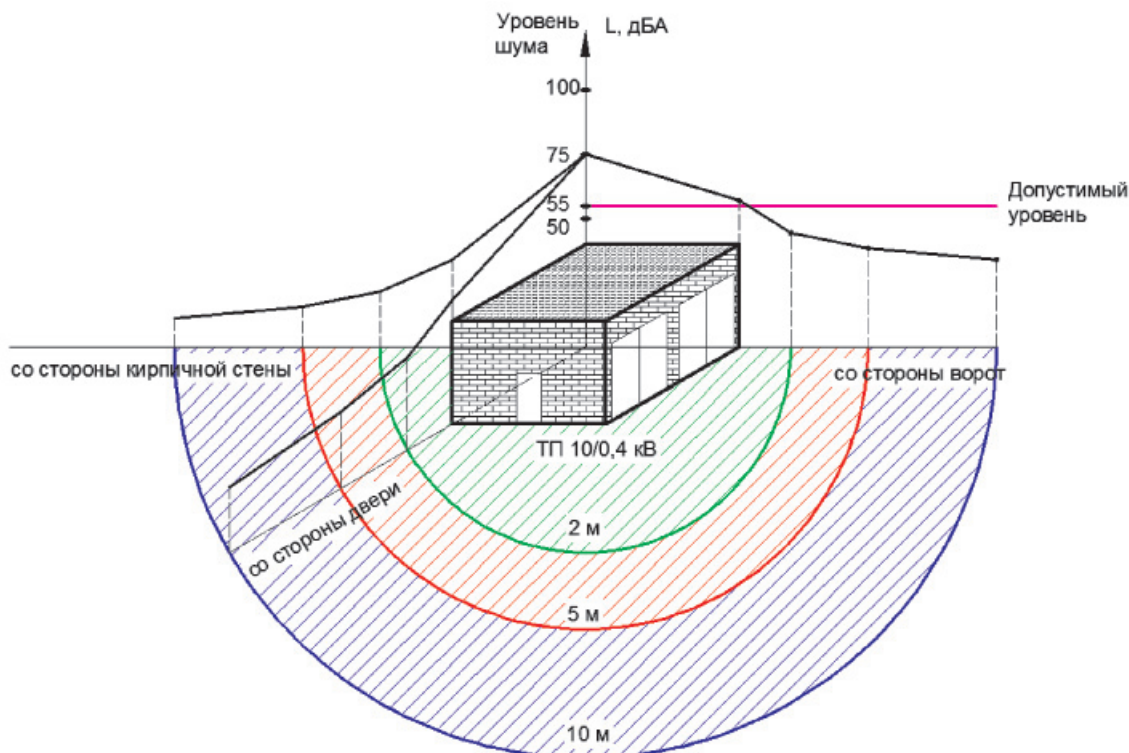


Рис. 1. Зависимость уровня шума от удаленности расчетной точки до источника шума с разных сторон ТП

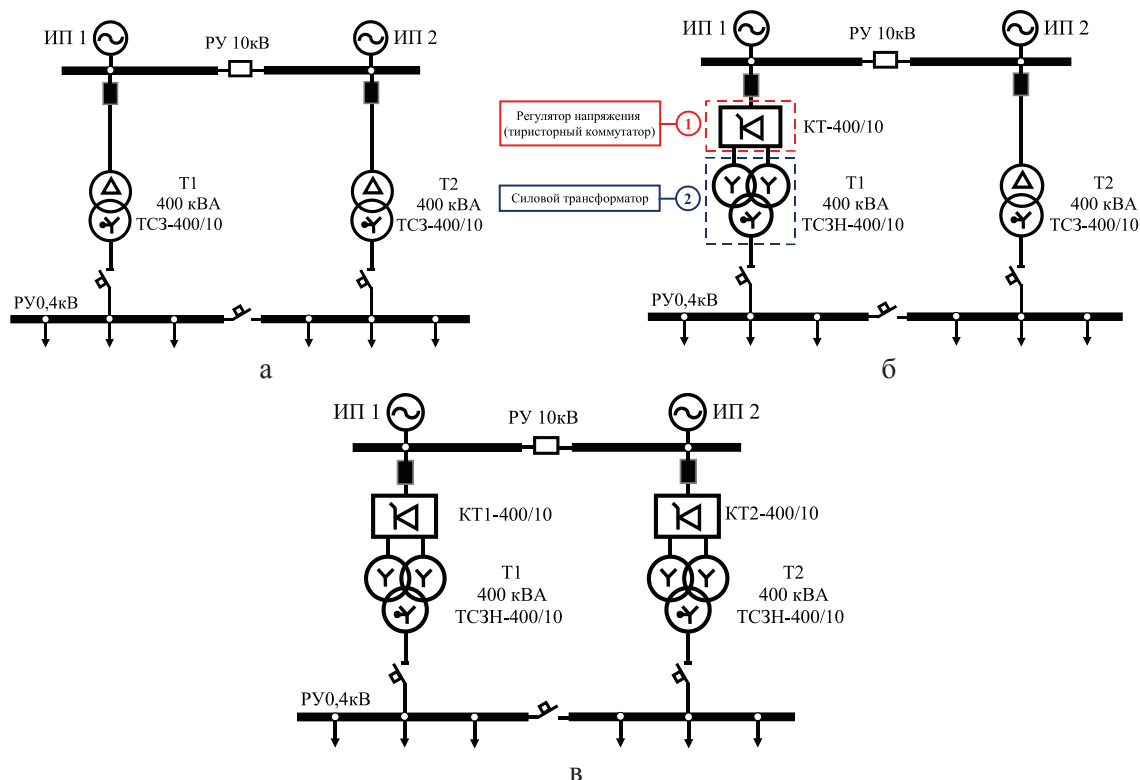


Рис. 2. Варианты схем компоновки трансформаторного оборудования:
 а – два сухих трансформатора ТСЗ-400/10; б – трансформатор ТСЗН-400/10 с тиристорным регулятором КТ-400/10 и трансформатор ТСЗ-400/10;
 в – два трансформатора ТСЗН-400/10 с тиристорными регуляторами КТ-400/10

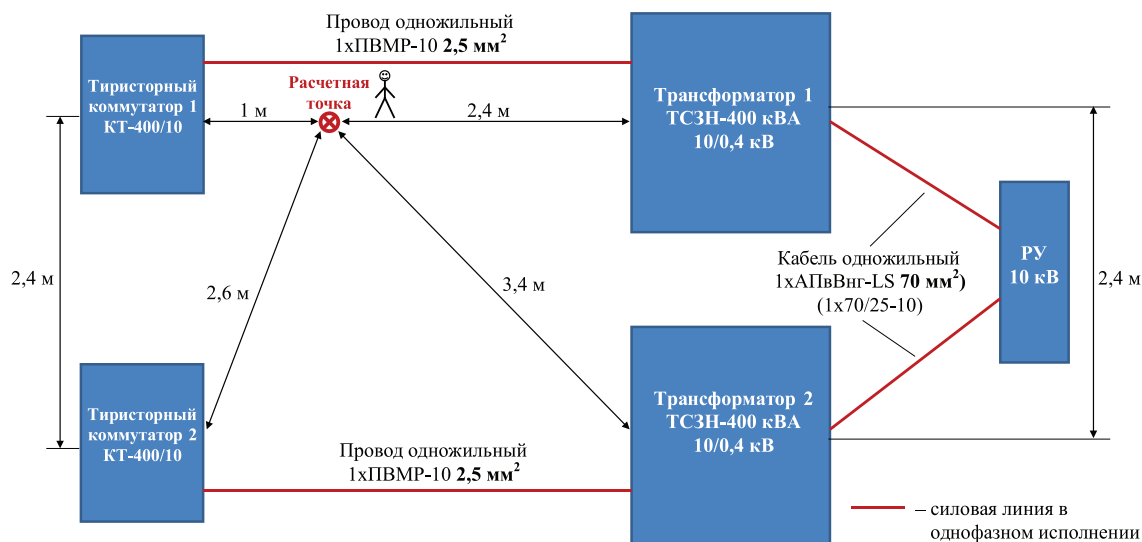


Рис. 3. Структурная схема расположения

Два силовых трансформатора напряжением 10/0,4 кВ и мощностью 400 кВА получают питание по одножильным кабельным линиям $3 \times (1 \times \text{АПВнг-LS } 70 \text{ мм}^2)$ от распределительного устройства (РУ) 10 кВ. Силовые трансформаторы и тиристорные комму-

таторы соединены между собой с помощью проводов ПВМР-10 2,5 мм². Каждая фаза тиристорного коммутатора расщеплена на шесть проводов (рис. 4). Максимальное рабочее напряжение в цепи тиристорного коммутатора составляет 900 В.

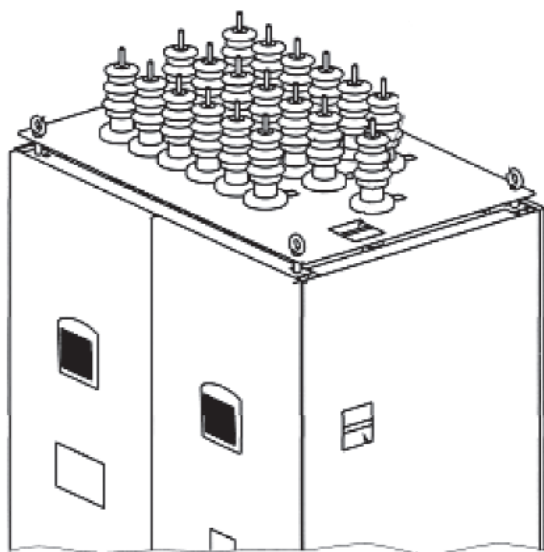


Рис. 4. Фрагмент шкафа
тиристорного коммутатора

Характеристика кабеля АПВнг-LS 10 кВ: круглая многопроволочная уплотнённая токопроводящая жила из алюминия; экран по жиле из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; изоляция из сшитого полиэтилена; экран по изоляции из экструдированного электропроводящего сшитого полиэтилена; разделительный слой электропроводящей ленты; экран из медных проволок, скреплённых медной лентой; разделительный слой из стеклоленты; оболочка из негорючего ПВХ-пластиката; наружный диаметр кабеля 26,5 мм; диаметр жилы 9,44 мм; расстояние между фазами 0,5 м; расчетный ток 22 А.

Характеристика провода ПВМП-10 10 кВ: внутренний проводник из медной проволоки; изоляция из кремнийорганической резины; наружный диаметр провода 12,5 мм; диаметр проводника 1,78 мм; расстояние между фазами 0,2 м; в фазе 6 проводов; расчетный ток 15,6 А. Радиус расщепленного провода ПВМП-10 по электрическим параметрам [5] эквивалентен одиночному проводу с радиусом:

$$r_3 = \sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot r_p^{n-1}}, \quad (1)$$

где r_0 – радиус провода (0,98 мм); r – среднее расстояние между проводами (12,5 мм); n – число проводов в фазе.

По формуле (1) эквивалентный радиус провода составляет 10,85 мм.

Расстояния от расчетной точки до трансформаторного оборудования указаны на рис. 4. Рабочая точка выбрана исходя из расстояния, на котором будет происходить обслуживание шкафа тиристорного коммутатора. Если человек будет стоять в метре от

тиристорного коммутатора 1, то расстояние до тиристорного коммутатора 2 составит 2,6 м, а до трансформаторов 2,4 и 3,4 м соответственно. Высота шкафа тиристорного коммутатора составляет 2602 мм, поэтому на высоте 2,8 м напряженность электрического поля для трансформаторного оборудования максимальна. Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [4] расчетная высота составляет 1,8 м (на этой высоте находится голова человека).

Напряженность электрического поля [5] определяется по следующей формуле:

$$E = \frac{CU}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left[\frac{1}{H^2 + X_1^2} - \frac{0,5}{H^2 + X_2^2} - \frac{0,5}{H^2 + X_3^2} \right], \quad (2)$$

где C – ёмкость единицы длины кабеля; Ф/м; U – номинальное напряжение, кВ; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м; X_1 – расстояние от первой фазы до расчетной точки, м; X_2 – расстояние от второй фазы до расчетной точки, м; X_3 – расстояние от третьей фазы до расчетной точки, м; H – высота от расчетной точки до точки с максимальной напряженностью ($H = 2,8 - 1,8 = 1$ м).

С помощью формулы (3) определяется ёмкость единицы длины проводника:

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg \left(\frac{2 \cdot D_0}{d} \right)}, \quad (3)$$

где d – диаметр провода, м; D_0 – расстояние между фазами, м.

Результаты расчета напряженности электрического поля приведены в табл. 1.

Оценку воздействия магнитного поля, создаваемого трансформаторным оборудованием, можно осуществить на основе коэффициентов пропорциональности [6] между рабочим током проводников и максимальным значением напряженности магнитного поля:

$$H = \gamma \cdot I, \quad (4)$$

где γ – коэффициент пропорциональности между рабочим током проводника и напряженностью магнитного поля (для напряжения 10 кВ $\gamma = 0,0893$); I – рабочий ток проводника, А.

В табл. 2 приведены результаты расчета напряженности магнитного поля.

Таблица 1

Результаты расчета напряженности электрического поля

Параметр	Трансформаторное оборудование			
	Тиристорный коммутатор 1	Тиристорный коммутатор 2	Трансформатор 1	Трансформатор 2
C , Ф/м	$18,96 \cdot 10^{-12}$	$18,96 \cdot 10^{-12}$	$11,85 \cdot 10^{-12}$	$11,85 \cdot 10^{-12}$
X_1 , м	1	2,41	2,4	3,06
X_2 , м	1,02	2,6	2,45	3,4
X_3 , м	1,02	2,97	2,45	3,76
E , кВ/м	0,001740	0,005597	0,006502	0,029150

Таблица 2

Результаты расчета напряженности магнитного поля

Параметр	Трансформаторное оборудование			
	Тиристорный коммутатор 1	Тиристорный коммутатор 2	Трансформатор 1	Трансформатор 2
γ	0,0893	0,0893	0,0893	0,0893
I , А	15,6	15,6	22	22
H , А/м	1,3931	1,3931	1,9646	1,9646

Таблица 3

Сравнение расчетных значений величин напряженности электрического и магнитного полей с предельно допустимыми уровнями электромагнитного поля

Номер варианта	Состав оборудования	E , кВ/м	H , А/м
1	Трансформаторы Т1, Т2	0,0357	3,9292
2	Трансформаторы Т1, Т2 и тиристорный коммутатор КТ1	0,0374	5,3223
3	Трансформаторы Т1, Т2 и тиристорные коммутаторы КТ1, КТ2	0,0430	6,7154
Предельно допустимый уровень (ПДУ)		5	80

Согласно [4] допустимый уровень напряженности электрического поля промышленной частоты на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. Предельно допустимое значение напряженности магнитного поля при 8-часовом пребывании в зоне воздействия [4] составляет 80 А/м при общем воздействии (на все тело). В табл. 3 приведено сравнение расчетных значений величин напряженности электрического и магнитного полей для различных вариантов состава трансформаторного оборудования с предельно допустимыми уровнями электромагнитного поля.

Анализ результатов показал, что расчетные величины напряженности электромагнитного поля значительно ниже допустимых величин.

Емкостной ток, проходящий через человека в землю

Через тело человека, находящегося вблизи действующих электроустановок,

в области создаваемого ими электрического поля, постоянно проходит в землю емкостной ток. Оценка воздействия емкостного тока на организм человека отсутствует.

Выражение для емкостного тока, проходящего через тело человека [7], находящегося в электрическом поле промышленной частоты и стоящего на полу в токопроводящей обуви, выглядит следующим образом:

$$I_h = k \cdot E, \quad (5)$$

где k – постоянный множитель ($k = 12$ Ф·м/с).

В табл. 4 приведены результаты расчета емкостного тока, проходящего через человека.

Емкостной ток, проходящий через человека в землю для различных вариантов состава трансформаторного оборудования, приведен в табл. 5.

В настоящее время отсутствуют нормативные документы, регламентирующие предельно допустимый уровень емкостного тока, проходящего через человека в землю.

Таблица 4

Результаты расчета емкостного тока, проходящего через человека

Параметр	Трансформаторное оборудование			
	Тиристорный коммутатор 1	Тиристорный коммутатор 2	Трансформатор 1	Трансформатор 2
E , кВ/м	0,001740	0,005597	0,006502	0,029150
I_h , мкА	20,880	67,164	78,024	349,8

Таблица 5

Емкостной ток, проходящий через человека в землю для различных вариантов состава трансформаторного оборудования

Номер варианта	Состав трансформаторного оборудования	E , кВ/м	I_h , мкА
1	Трансформаторы Т 1, Т 2	0,0357	427,824
2	Трансформаторы Т 1, Т 2 и тиристорный коммутатор КТ 1	0,0374	448,704
3	Трансформаторы Т 1, Т 2 и тиристорные коммутаторы КТ 1, КТ 2	0,0430	515,868

Выводы

В работе проведены исследования основных вредных и опасных факторов ЦТП, влияющих на производительность труда и здоровье человека. Получены численные значения напряженности электрического и магнитного полей, емкостного тока, проходящего через человека, вблизи действующего трансформаторного оборудования ЦТП. Сравнительный анализ результатов исследования показал, что ЦТП, наравне с существующими ТП, не оказывают вредного воздействия на здоровье человека и не ухудшают условий труда обслуживающего персонала. Воздействие электромагнитного поля более чем в 10 раз ниже нормативных значений. Кроме того, следует учесть, что обслуживающий персонал проводит ежедневный плановый осмотр электрооборудования ЦТП в течение 10–15 минут, в то время как предельно допустимые уровни указаны для 8-часового пребывания в зоне воздействия. Таким образом, специальных мероприятий по снижению воздействия ЦТП на условия труда обслуживающего персонала не требуется.

Список литературы

1. Александров Г.Н. Передача электрической энергии. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 412 с.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 488 с.
3. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 19 февраля 2003 г. № 10.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Утверждено Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 36.
5. Соснина Е.Н. К вопросу о безопасности силовых трансформаторов / Е.Н. Соснина, О.В. Маслеева, Г.В. Пачурин, Р.Ш. Бедретдинов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 1023–1026.

6. Соснина Е.Н. Опытная цифровая трансформаторная подстанция с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулированием напряжения и мощности / Е.Н. Соснина, А.Б. Лоскутов, С.М. Дмитриев, А.И. Чивенков, А.А. Лоскутов // Промышленная энергетика. – 2013. – № 12. – С. 8–13.

7. Степанов И.М. Исследование электромагнитных полей в электроустановках высокого напряжения и разработка мер по снижению их интенсивности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.12: защищена 26.02.2009. – Новосибирск, 2009. – 149 с.

References

1. Aleksandrov G.N. Peredacha jelektricheskoj jenerгии. 2-e izd. SPb.: Izd-vo Politehn. Un-ta, 2009. 412 p.
2. Dolin P.A. Osnovy tehniki bezopasnosti v jelektroustanovkah: ucheb. posobie dlja vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Jenergoatomizdat, 1984. 488 p.
3. SanPiN 2.2.4.1191-03. Jelektromagnitnye polja v proizvodstvennyh uslovijah. Utverzhdeny Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 19 fevralja 2003 g. no. 10.
4. SN 2.2.4/2.1.8.562-96. Shum na rabochih mestah, v pomeshhenijah zhilyh, obshhestvennyh zdaniy i na territorii zhiloy zastrojki. Utverzhdeno Postanovleniem Goskomsanepidnadzora Rossii ot 31 oktjabrja 1996 g. no. 36.
5. Sosnina E.N. K voprosu o bezopasnosti silovyh transformatorov / E.N. Sosnina, O.V. Masleeva, G.V. Pachurin, R.Sh. Bedretdinov // Fundamentalnye issledovaniya. 2013. no. 10. pp. 1023–1026.
6. Sosnina E.N. Opytnaja cifrovaja transformatornaja podstancija s aktivno-adaptivnoj sistemoj upravlenija i avtomaticheskim plavnym regulirovanijem naprijazhenija i moshhnosti / E.N. Sosnina, A.B. Loskutov, S.M. Dmitriev, A.I. Chivenkov, A.A. Loskutov // Promyshlennaja jenergetika. 2013. no. 12. pp. 8–13.
7. Stepanov I.M. Issledovanie jelektromagnitnyh polej v jelektroustanovkah vysokogo naprijazhenija i razrabotka mer po snizheniju ih intensivnosti: diss. ...kand. tehn. nauk: 05.14.12: zashhishhena 26.02.2009. Novosibirsk, 2009. 149 p.

Рецензенты:

Лоскутов А.Б., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и электроэнергетика», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Институт транспортных систем, г. Нижний Новгород.

УДК 509.6

ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ОБЪЕКТОМ

¹Сташков Д.В., ²Насыров И.Р., ^{2,3}Казаковцев Л.А.

¹ЗАО «СИНЕТИК», Новосибирск;

²Сибирский государственный аэрокосмический университет им. ак. М.Ф. Решетнева, Красноярск;

³Сибирский федеральный университет, Красноярск, e-mail: stashkov@ngs.ru

Задача повышения надежности программных модулей систем управления технологическими процессами путем дублирования критически важных модулей при ограничении на бюджет сведена к задаче псевдоболевой оптимизации «рюкзачного» типа, для которой предложены известные методы решения. Параметрами оптимизационной модели являются программные модули, для каждого из которых определяется необходимость дублирования. Дополнительные версии модулей, для которых предусмотрено дублирование, должны быть разработаны независимо друг от друга различными командами исполнителей. Оценка вероятности обнаружения ошибки в программном модуле базируется на статистической модели Холстеда. Область применения предлагаемых моделей – синтез программных комплексов управления сложными системами промышленной автоматики, применяемыми как на производствах, так и в системах городской инфраструктуры, таких как автоматизированные системы управления очистных сооружений городской канализации.

Ключевые слова: промышленная автоматика, мультиверсионное программирование, псевдоболевая оптимизация

PROBLEM OF FORMING A FAULT-TOLERANT INDUSTRIAL CONTROL SOFTWARE PACKAGE

¹Stashkov D.V., ²Nasyrov I.R., ^{2,3}Kazakovtsev L.A.

¹SINETIC JSC, Novosibirsk;

²Siberian State Aerospace University Named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk;

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: stashkov@ngs.ru

Authors propose new statement of the problem of increase of fault tolerance of program control systems for technological processes via redundancy of the most important program units. This problem is stated as a constrained pseudo-Boolean optimization problem of knapsack type with budget constraint. Parameters of such optimization model are program units. For each unit, solving the optimization problem results in determining necessity of its duplication or using its single version. Additional versions of program units which need duplication must be developed independently by an independent team of computer programmers. Estimation of error detection probability for a program unit is based on the Halsted statistical model. The proposed models are useful for the synthesis of automated control systems used in industrial companies and city infrastructure systems such as automated control systems of purification plants of a city sewerage system.

Keywords: industrial automation, multi-version programming, pseudo-Boolean optimization

Современные системы управления промышленной автоматикой включают в себя сложные программно-аппаратные комплексы, состоящие из десятков и сотен компонентов: датчиков, исполнительных элементов, коммуникационных каналов, систем обработки информации и программных модулей. Дублирование функций аппаратных устройств достаточно хорошо изучено и описано в литературе [10, 3]. В критически важных узлах предусмотрено дублирование датчиков, исполнительных элементов, каналов передачи информации, серверов хранения и обработки информации, клиентских терминалов.

Производители устройств промышленной автоматики располагают обширной статистической информацией об отказах каждого вида устройств [15, 12]. Располагая подобной информацией, проектиров-

щик имеет возможность оценить риски отказа той или иной подсистемы и спроектировать критически важные компоненты таким образом, чтобы применение наиболее надежных устройств в сочетании с дублированием и резервированием сводило риски к приемлемому уровню. В то же время сложные системы требуют разработки в своем составе программного комплекса управления технологическим процессом, который собственно и позволяет системе функционировать как единое целое, организуя взаимодействие ее компонентов в зависимости от условий окружающей среды и от хода технологического процесса. Отказы программного обеспечения, в том числе связанные с некорректной реализацией заложенных в систему управления математических моделей, могут приводить к отказу системы в целом, причем

дублирование одинаковых копий программного обеспечения в этом случае ни в коей мере не устраняет проблему. В этой связи средством повышения надежности может стать мультиверсионное программирование.

Причины отказов и статистические данные о них

Производители устройств промышленной автоматики снабжают потребителей, которыми зачастую являются проектные и внедренческие предприятия, исчерпывающим методическим обеспечением [15, 12] по разработке соответствующего программного обеспечения. Но разработка программного обеспечения всегда сопряжена с риском возникновения ошибок на различных этапах. Ошибки на этапе составления программного кода, выявляемые компилятором, здесь несущественны, поскольку выявляются до ввода программного модуля в эксплуатацию. То же можно сказать о грубых логических ошибках в коде, всегда выявляемых на этапе тестирования системы. Наибольшее влияние на надежность программного комплекса оказывают ошибки, незначительные в обычных режимах работы, но проявляющиеся при выполнении нескольких условий. Как правило, программные модули тестируются на работоспособность в предельных режимах работы. В то же время ошибки могут проявляться при достижении предельных значений нескольких параметров одновременно.

Еще более «коварными» являются ошибки в сложных математических моделях, на основе которых построен программный код. Современные узлы промышленной автоматики работают под управлением программных модулей различной сложности. Единственный программный модуль может реализовывать как очень простую, так и чрезвычайно сложную логику управления исполнительными элементами в зависимости от показаний множества датчиков и накопленной информации. Рассмотрим, например, программный модуль, реализующий управление подсистемой распределительных камер аэротенков в системе управления городской канализацией (ПРКА ГК, рисунок). Соответственно, сложность программной реализации модулей чрезвычайно сильно различается. В состав изображенной подсистемы исполнительных механизмов подсистемы входят 8 регулирующих затворов, контрольно-измерительными приборами являются датчики уровня стоков и датчики положения затворов. Основной функцией алгоритма управления ПРКА является автоматическое позиционирование затворов в зависимости от задания пере-

пада уровней стоков в распределительных камерах. Задача подсистемы – поддержание заданного перепада уровней в распределительных камерах посредством регулирования положения. Математическая модель расчёта расхода стоков, протекающих через затвор:

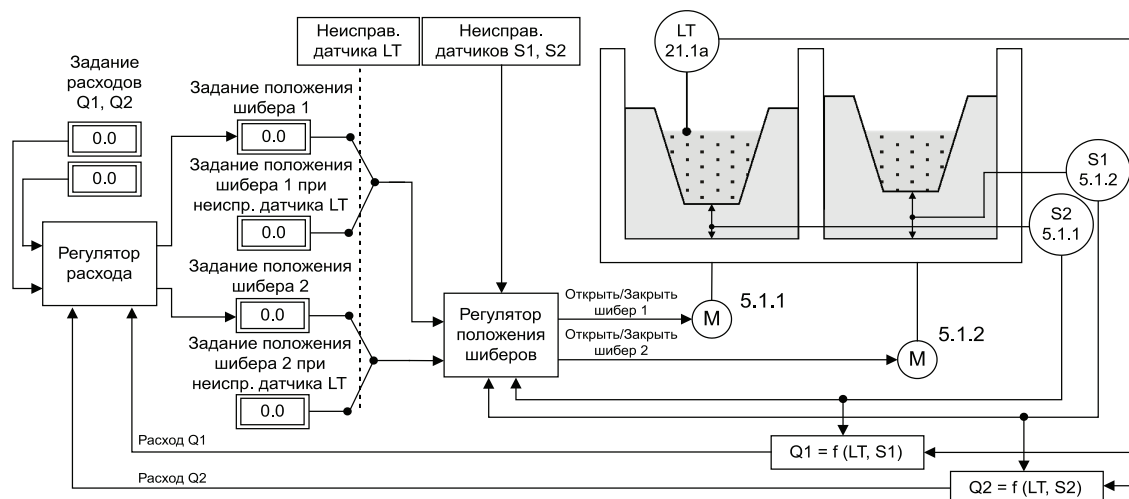
$$Q = 1,86 \cdot B \cdot (L - S)^{3/2},$$

где B – ширина нижнего края затвора; L – уровень воды в распределительной камере; S – положение шиберов (в мм). Значения L и S также оцениваются с использованием соответствующих математических моделей. Кроме того, для данного алгоритма задан комплекс условий разрешения работы. Сформированные задания поступают на регулятор положения, задачей которого является позиционирование шиберов.

Также программный модуль содержит обширное множество алгоритмов работы в нештатных ситуациях – при неисправности датчиков и исполнительных элементов.

Готовый программный модуль должен быть настроен. Далеко не полный перечень настраиваемых параметров приведен в таблице. Некорректный программный код любого из алгоритмов, реализованных в программном модуле, или некорректные значения параметров приводят к сбою в программном модуле и некорректной работе всей системы. Поскольку программный модуль, изображенный на рисунке, реализует вспомогательные функции системы, его отказ не приведет к немедленной аварии всей системы. В то же время, в той же рассматриваемой системе имеются чуть менее сложные модули, управляющие ее критически важными элементами. Отказ модуля может быть обнаружен соответствующими средствами мониторинга. В то же время, некорректная работа модуля (некорректная реализация математических моделей) приводит к работе системы в неоптимальном режиме, что приводит к быстрому износу, повышению риска аварийных ситуаций в иных частях системы, работающих в данном случае с повышенной нагрузкой, а в случае систем, подобных представленной на рисунке, к серьезным экологическим последствиям в среднесрочной перспективе. Обнаружение подобных неявных ошибок чрезвычайно затруднено.

В случае отказа программного модуля вследствие аппаратного сбоя средством повышения надежности системы, безусловно, является дублирование аппаратных ресурсов – датчиков, серверов, телекоммуникационных каналов. Нарушение же логики работы программы, не приводящее к ее остановке, будет повторяться на любом количестве ее копий.



Структурная схема алгоритма управления ПРКА ГК (пример)

Параметры настройки алгоритма (пример)

Параметр	Описание	Значение
$Q1_{ном}, Q2_{ном}$	Номинальное значение задания расхода	150 мм
$Q1_{мин}, Q2_{мин}$	Минимальное значение задания расхода	50 мм
$Q1_{макс}, Q2_{макс}$	Максимальное значение задания расхода	1000 мм
$T_{ош.рег}$	Задержка сообщения об ошибке регулирования	120 с
$S_1 \text{ безоп}, \dots, S_8 \text{ безоп}$	Уставка безопасного положения затворов	50 мм
$L_1 \text{ авар. выс}, L_2 \text{ авар. выс}$	Аварийно высокий уровень в распр. камере	5800 мм
$L_1 \text{ авар. низк}, L_2 \text{ авар. низк}$	Аварийно низкий уровень в распределительной камере	900 мм
$T_{зад. L авар}$	Задержка формирования сообщения об аварийном уровне в распределительной камере	60 с

Методы мультиверсионного программирования и оценки вероятности возникновения ошибок

Технология высоконадежного мультиверсионного программирования традиционно применяется в военной, в основном – космической [9, 8] сфере. Наземные комплексы управления космическими аппаратами комплектуются программным обеспечением, отдельные модули которого дублируют функции друг друга. Версии модуля разрабатываются независимыми командами программистов, отдельно тестируются. Кроме того, часто используются различные средства разработки. Версии исполняются параллельно, результаты работы каждой из них передаются вспомогательному модулю, осуществляющему сравнение результатов. Если результаты (в пределах установленной погрешности) совпадают, исполняемому элементу передается результат одного из модулей. В случае несовпадения, например, управляющее воздействие выбирается «большинством голосов»

(требуется нечетное число версий модулей). В любом случае применение мультиверсий позволяет выявить наличие проблемы в программном коде. Выявленная ошибка в программном коде может служить сигналом к переводу системы в особый аварийный режим работы, к остановке производства и т.д., до выявления причины ошибки и ее устранения. Таким образом, во многих случаях системы промышленной автоматизации не требуют наличия нечетного количества мультиверсий. Наличие хотя бы двух независимо разработанных версий позволяет в большинстве случаев выявлять ошибку.

Пусть вероятность возникновения ошибки в i -й версии программного модуля равна p_i . Тогда вероятность одновременного возникновения ошибки во всех модулях равна

$$\prod_{i=1}^N p_i,$$

где N – число версий модуля, и вероятность обнаружения ошибки равна $1 - \prod_{i=1}^N p_i$.

Очевидно, что данное значение стремится к 1 с ростом N . Поскольку программные модули проходят всестороннее тестирование, вероятность ошибки в каждой из версий модуля невелика. Например, если вероятность ошибки в каждой из двух версий модуля равна 0,001 %, вероятность одновременного возникновения ошибки сокращается до 0,0000001 %.

Для оценки предполагаемого числа ошибок используются разнообразные модели. Например, в [7] предлагается следующая оценка первоначального числа ошибок D_0 :

$$D_0 = V/3000, \quad (1)$$

где V – объем программы в бит информации. Объем, в свою очередь, оценивается как

$$V = N \log_2 \eta,$$

где $\eta = \eta_1 + \eta_2$ – число уникальных операторов и операндов программы; $N = N_1 + N_2$ – число обращений к ним в ПО.

Число ошибок на m этапе тестирования модель Холстеда [13] оценивает как

$$D_m = \frac{E^{(2/3)}}{3200}, \quad (2)$$

где E – оценка сложности системы:

$$E = \frac{\eta_1 N_2 N \log_2 \eta}{2\eta_2}.$$

Данные модели сложности и предполагаемого числа ошибок могут быть использованы в качестве грубых оценок. Пусть для каждого из M модулей имеется несколько версий, V_j для j -го модуля. Пусть P_{ji} – вероятность безотказной работы i -й версии j -го модуля. Если отказ любого из модулей ведет к отказу всей системы, то вероятность P безотказной работы системы может быть выражена следующим образом:

$$P = \prod_{j=1}^M \left(1 - \prod_{i=1}^{V_j} (1 - P_{ji}) \right).$$

Оптимизационная модель надежности программного комплекса

В свою очередь, вероятность безотказной работы может быть оценена через число ошибок (1)–(2).

Сложность каждого из модулей можно считать приблизительно одинаковой вне зависимости от конкретной реализации. Таким образом, зная сложность единственной версии каждого модуля, может быть получена оценка вероятности безотказной работы системы в целом в зависи-

мости от числа версий каждого из модулей и вероятности безотказной работы P_j единственной версии:

$$P = \prod_{j=1}^M (1 - V_j (1 - P_j)).$$

В то же время увеличение числа версий каждого из модулей сопряжено с увеличением стоимости системы. Для систем промышленной автоматики будем считать приемлемым число версий модуля, не превышающее 2. Введем булевы переменные x_j , равные 1, если предполагается дублирование j -го модуля и константы C_j – стоимость разработки j -го модуля. Тогда при заданном бюджете C на разработку всего программного комплекса имеем оптимизацию:

$$P = \prod_{j=1}^M (1 - (1 + x_j)(1 - P_j)) \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^M (1 + x_j) \cdot C_j \leq C.$$

Задачи псевдобулевой оптимизации подобного («рюкзачного») типа исследованы в работах А.Н. Антамошкина [11, 1, 2] и др. Созданы методы [5, 14], позволяющие получать субоптимальное (достаточно точное) решение подобных задач размерности до миллионов переменных, что позволяет решать задачи, подобные (3). Для задач с монотонной целевой функцией могут быть также успешно применены жадные эвристики [4] или специальные агломеративные жадные эвристики [6].

Заключение

Задача повышения надежности систем промышленной автоматики кроме дублирования функций аппаратных устройств требует в некоторых случаях дублирования также и программных модулей. Задача построения оптимальной конфигурации требуемых программных модулей может быть сведена к задаче псевдобулевой оптимизации.

Список литературы

1. Антамошкин А.Н., Казаковцев Л.А. Алгоритм случайного поиска для обобщенной задачи Вебера в дискретных координатах // Информатика и системы управления. – 2013. – Вып. 1. – С. 87–98.
2. Антамошкин А.Н., Казаковцев Л.А. Применение метода изменяющихся вероятностей для задач размещения на сети // Вестник СибГАУ. – 2014. – № 5(57).
3. Бабешко Е.В. Анализ возможностей современных промышленных контроллеров для разработки отказоустойчивых систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – Вып. 7(19). – С. 36–39.
4. Дюбин Г.Н., Корбут А.А. Жадные алгоритмы для задачи о ранце: поведение в среднем // Сибирский журнал математики. – 1999. – Т. II, № 2(4). – С. 68–93.

5. Казаковцев Л.А. Параллельный алгоритм случайного поиска с адаптацией для систем с распределенной памятью // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – № 3 (49). – С. 11–15.

6. Казаковцев Л.А., Ступина А.А., Орлов В.И. Модификация генетического алгоритма с жадной эвристикой для непрерывных задач размещения и классификации // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 2(56). – С. 35–39.

7. Марков А.С. Модели оценки и планирования испытаний программных средств по требованиям безопасности информации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2011. Специальный выпуск «Технические средства и системы защиты информации». – С. 90–103.

8. Ступина А.А., Ежемаская С.Н. Технология надежного программирования задач автоматизации управления в технических системах. – Красноярск: СФУ, 2011. – 164 с.

9. Царев Р.Ю., Капулин Д.В., Машурова Д.В., Тынченко Я.А., Ковтанык Д.Н. Многоатрибутивное формирование гарантоспособных систем управления и обработки информации // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 5(45). – С. 106–110.

10. Ястребенский М.А. Определение надежности аппаратуры промышленной автоматики в условиях эксплуатации. – М.: Рипол Классик, 2014. – 134 с.

11. Antamoshkin A.N., Kazakovtsev L.A. Random Search Algorithm for the p-Median Problem, Informatica (Ljubljana). – 2013. – № 37(3). – P. 267–278.

12. GE Fanuc Automation. Series 90-70. Hot Standby CPU Redundancy. User's Guide // GE Fanuc Automation North America. – 1993. – 93 с.

13. IEEE Std. 1061-1998 IEEE Computer Society: Standard for Software Quality Metrics Methodology. – 1998. – 20 p.

14. Kazakovtsev L.A. Random Constrained Pseudo-Boolean Optimization Algorithm for Multiprocessor Systems and Clusters // ICUMT 2012, International Congress on Ultra-Modern Telecommunications. IEEE Press. – SPb., 2012. – P. 650–656.

15. Siemens Simatic. S7-400H Programmable Controller. Fault-Tolerant Systems. – Siemens AG, 2003. – 328 с.

References

1. Antamoshkin A.N., Kazakovtsev L.A. *Algoritm sluchainogo poiska dlya obobshchennoi zadachi Vebera v diskretnykh koordinatakh* [Random search algorithm for a generalized Weber problem in discrete coordinates]. *Informatika i sistemy upravleniya*. 2013, issue 1, p. 87–98.

2. Antamoshkin A.N., Kazakovtsev L.A. *Primenenie metoda izmeniyushchikhsya veroyatnostei dlya zadach razmesheniya na seti* [Using the probability changing method for location problems on a network]. *Vestnik SibGAU*, 2014. 5(57).

3. Babeshko E.V. *Analiz vozmozhnostey sovremennykh promyshlennykh kontrollerov dlya razrabotki otkazoustoichivyykh sistem* [Capability study of modern industrial controllers for developing reliable systems]. *Radioelektronnye i kompyuternye sistemy*. 2006, no. 7(19), pp. 36–39.

4. Dyubin G.N., Korbut A.A. *Zhadnye algoritmy dlya zadachi o rantse: povedenie v srednem* [Greedy algorithms for knapsack problem: average behavior]. *Sibirskii Zhurnal Industrialnoi Matematiki*. 1999. Vol. II, issue 2(4), pp. 68–93.

5. Kazakovtsev L.A. *Parallelnyi algoritm sluchainogo poiska s adaptatsiei dlya sistem s raspredelennoi pamyatyu* [Parallel random search algorithm with adaptation for shared memory systems]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2012. issue 3 (49), pp. 11–15.

6. Kazakovtsev L.A., Stupina A.A., Orlov V.I. *Modifikatsiya geneticheskogo algoritma s zhadnoi evristikoi dlya nepre-ryvnykh zadach razmesheniya i klassifikatsii* [Modification of genetic algorithm with greedy heuristic for location and classification problems]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2014, issue 2(56), pp. 35–39.

7. Markov A.S. *Modeli otsenki i planirovaniya ispytaniy programnykh sredstv po trebovaniyam bezopasnosti informatsii* [Models of estimating and planning of computer program tests according to information security demands]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering*. 2011. Special issue «Technical means and systems of information security», pp. 90–103.

8. Stupina A.A., Yezhemanskaya S.N. *Tekhnologiya nadezhnogo programmirovaniya zadach avtomatizatsii v tekhnicheskikh sistemakh* [A fault-tolerant programming of automation problems in technical systems]. *Krasnoyarsk, Siberian Federal University*, 2011 164 p.

9. Tsarev R.Yu., Kapulin D.V., Mashurova D.V., Tynchenko Ya.A., Kovtanyuk D.N. *Mnogoatributivnoe formirovaniye garantospobnykh sistem upravleniya i obrabotki informatsii* [Multi-attributive synthesis of dependable control and information systems] // *Vestnik SibGAU*. 2012, no. 5(45), pp. 106–110.

10. Yastrebenetskii M.A. *Opreделение nadezhnosti apparatury promyshlennoy avtomatiki v usloviyakh ekspluatatsii* [Determining industrial automation systems reliability in service]. Moscow, Ripol Classic, 2014, 134 p.

11. Antamoshkin A.N., Kazakovtsev L.A. Random Search Algorithm for the p-Median Problem, Informatica (Ljubljana). 2013. 37(3), pp. 267–278.

12. GE Fanuc Automation. Series 90-70. Hot Standby CPU Redundancy. Users Guide. GE Fanuc Automation North America. 1993, 93 p.

13. IEEE Std. 1061-1998 IEEE Computer Society: Standard for Software Quality Metrics Methodology. 1998, 20 p.

14. Kazakovtsev L.A. Random Constrained Pseudo-Boolean Optimization Algorithm for Multiprocessor Systems and Clusters // ICUMT 2012, International Congress on Ultra-Modern Telecommunications. IEEE Press. S-Petersburg. 2012, pp. 650–656.

15. Siemens Simatic. S7-400H Programmable Controller. Fault-Tolerant Systems. – Siemens AG. 2003, 328 p.

Рецензенты:

Антамошкин А.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой математического моделирования и информатики, ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск;

Ступина А.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Экономика и информационные технологии менеджмента», ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

УДК 658.5:664.005.6:006(470.56)

ТРУДНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ХАССП НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

¹Третьяк Л.Н., ²Антипова А.П., ¹Куприянов А.В.¹ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,

Оренбург, e-mail: tretyak_ln@mail.ru, cuprum@rambler.ru;

²ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний»,

Оренбург, e-mail: orencert-ap@yandex.ru

В статье анализируются результаты анкетного опроса специалистов пищевых предприятий Оренбургской области, внедривших или планирующих к внедрению систему ХАССП. Обосновано обязательное применение ХАССП как инструмента обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов. Приведена структура типичных трудностей планирования, разработки, внедрения и обслуживания (поддержания) системы. При разработке плана ХАССП – трудности при документировании, отсутствие специалистов, трудности анализа рисков и выявления опасностей, а также наличие большого числа критических контрольных точек (ККТ). При разработке системы ХАССП – увеличение документооборота, загруженность специалистов другими делами. При обслуживании системы ХАССП – высокая стоимость проведения внешнего аудита, низкая преемственность из-за текучести кадров, низкая мотивация персонала. Предложены варианты решения проблемы разработки, внедрения и поддержания системы менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) на предприятиях Оренбургской области: привлечение аутсорсинговых компаний; оказание консультационных и образовательных услуг по оценке факторов, влияющих на безопасность продукции, разработка научных рекомендаций и требований для контрольно-регламентирующих органов по повышению квалификации и профессиональной подготовке специалистов, проведение обучающих курсов и лекций.

Ключевые слова: ХАССП, разработка плана ХАССП, внедрение, поддержание системы СМБПП, методология менеджмента безопасности, специалисты, мотивация, услуги

DIFFICULTIES AND PERSPECTIVES OF SYSTEM HACCP INTRODUCTION ONTO THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES OF THE ORENBURG REGION AT THE PRESENT STAGE

¹Tretyak L.N., ²Antipova A.P., ¹Kupriyanov A.V.¹Federal State Educational Government-financed Institution of Higher Professional Education

«Orenburg State University», Orenburg, e-mail: tretyak_ln@mail.ru; cuprum@rambler.ru;

²State Regional Center of Standardization, Metrology and Tests, e-mail: orencert-ap@yandex.ru

There are questionnaire results of food industry enterprises specialists of the Orenburg region analyzed who introduced or who plan to introduce the system of HACCP. There is proved the required application of HACCP as the safety and quality tool of food products. There is given the typical difficulties structure of planning development introduction and service (maintenance) of this system. There are documenting difficulties, absence of experts, risk analysis difficulties and dangers detection, and also large number existence of the critical control points (CCP). There is increased document flow by HACCP system development, so as specialists can be busy by another matters. It is noted the high external audit cost, low continuity because of staff turnover and low staff motivation by HACCP system service. There are proposed problem solutions variants of the of development, introduction and maintenance of the food products safety management system (FPSMS) at the Orenburg region enterprises: the outsourcing companies involvement; provision of consulting and educational services for factors valuations which influence production safety, scientific recommendations development and the control regulating organs requirements for professional development and vocational specialists training, the courses and lectures training.

Keywords: HACCP, HACCP planning development, introduction and maintenance of FPSMS system, safety management methodology, specialists, motivation, services

В международной практике для обеспечения более полной безопасности пищевых продуктов традиционно применяется системный подход, основанный на принципах ХАССП (Hazard Analysis and Critical Control Point: русскоязычный эквивалент – «АРКККТ» – Анализ Рисков и Концепция Критической Контрольной Точки), однако в литературе чаще применяется аббревиатура «ХАССП».

Предприятия с известными торговыми марками (брендами) давно используют систему ХАССП для обеспечения требований стандартов по безопасности продуктов питания и для создания полной уверенности в защите торговой марки. Для других предприятий зачастую возникал вопрос «Почему существует потребность в разработке системы ХАССП?». При этом, как правило, выбирались следующие варианты ответов:

– национальные законодательные или регуляторные структуры рекомендуют или требуют создания данной системы;

– в системе безопасности нуждаются производители и поставщики;

– потребители ожидают получить безопасные пищевые продукты.

Действительно, в некоторых странах применение системы ХАССП давно требуется законодательно. В странах ЕС согласно Директиве ЕС 854/2004 от 29.04.2004 года и Регламенту ЕС № 852/2004 Европейского Парламента и Совета по гигиене пищевых продуктов от 29.04.2004 года проведение анализа рисков на основе принципов ХАССП для производителей пищевых продуктов обязательно.

Для практики отечественных пищевых предприятий после введения в действие с 1 июля 2013 года Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» стало также обязательным внедрение и поддержание процедур, основанных на принципах ХАССП на предприятиях, осуществляющих процессы производства пищевой продукции, для обеспечения ее безопасности. В соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 для законного оборота пищевой продукции с 15.02.2015 года все предприятия, участвующие в обороте пищевой продукции (производители, дистрибьюторы, перевозчики, оптовые и розничные сети, кафе и рестораны) будут обязаны разработать, внедрить и поддерживать в рабочем состоянии систему менеджмента безопасности пищевой продукции, основанную на принципах ХАССП (ст. 10, п. 2).

Следует уточнить, что система ХАССП не является гарантией безопасности продуктов питания и это не система гарантии «нулевых рисков». Эта система предназначена для снижения рисков возникновения различных видов опасности пищевых продуктов.

Как известно [1, 2], методология, претендующая на всеобщность и всеобъемлемость (а именно такова роль системы ХАССП в пищевой индустрии), на практике, как правило, не имеет методик практической реализации её требований. Это затрудняет эффективное применение ХАССП для конкретной организации.

Цель исследования – проанализировать и систематизировать трудности, характерные на современном этапе для предприятий пищевой промышленности Оренбургской области на этапах планирования, разработки и внедрения системы ХАССП, и обозначить перспективы для её эффективного внедрения.

Материалы и методы исследования

Для выявления и обобщения основных трудностей разработки и внедрения СМБПП, основанной на принципах ХАССП, нами было проведено анкетирование специалистов пищевых предприятий Оренбургской области (метод анкетного опроса экспертов). Анкетирование осуществлялось в рамках консультационных семинаров по теме: «Требования технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции. Окончание переходного периода», проводимых ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Оренбургской области». Статистическая обработка анкетных данных проведена с использованием табличного процессора Microsoft Excel. Обобщения и выводы получены на основе системного анализа с применением инструментов управления качеством – систематических диаграмм и метода Парето.

Результаты исследования и их обсуждение

В опросе, проведенном кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета (МСиС ОГУ) совместно с ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Оренбургской области», принимали участие специалисты различных отраслевых предприятий пищевой промышленности, что характерно для разнообразного спектра предприятий Оренбургской области. Однако большую часть респондентов составили специалисты предприятий по производству хлебобулочных изделий (21%) и молочной продукции (21%). В опросе приняли участие специалисты 130 предприятий Оренбургского региона.

Большинство из респондентов (58%) работают на предприятиях с ограниченной ответственностью. В открытых акционерных предприятиях работает 13% опрошенных специалистов и 8% принадлежит к закрытым акционерным обществам.

Опрошенные специалисты имеют различный стаж работы на своих предприятиях: третья часть из них (34%) имеет достаточно большой опыт работы – более 10 лет, а 11% – работают даже более 20 лет. Однако высокая доля относительно неопытных сотрудников: до 10 лет работают на предприятиях 47% опрошенных, причем среди них примерно половина работает на предприятиях менее 3 лет.

Большинство из опрошенных специалистов можно отнести к специалистам в области качества: 18% – менеджеры по качеству, 10% – руководители испытательных лабораторий. Традиционно мала доля руководителей предприятий, принимающих участие в семинарах и, соответственно, в проводимых на них опросах. Однако более трети из опрошенных – специалисты (технологи) по выпускаемой на предприятии продукции (рис. 1).

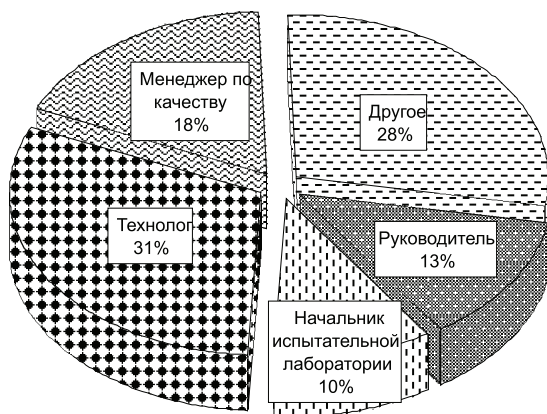


Рис. 1. Распределение должностей среди опрошенных специалистов предприятий

Руководство современных промышленных предприятий любого профиля давно рассматривает внедрение систем менеджмента качества (СМК) как инструмент достижения успеха, обеспечения качества выпускаемой продукции и конкурентоспособности предприятий в целом. Поэтому на половине оренбургских предприятий система ИСО 9001 разрабатывается, а на четверти из них (24%) она уже функционирует.

Наличие СМК на предприятии мы рассматриваем как условие успешного внедрения системы безопасности, базирующейся на принципах ХАССП. Этому, по нашему мнению, должен также способствовать системный подход к менеджменту в целом и приверженность к идеологии качества.

На сегодняшний день лишь на четверти (26%) оренбургских предприятий система ХАССП не создана, на 33% предприятий она уже внедрена, а 41% предприятий планирует эту систему к разработке. Поэтому большинство из специалистов уже имеют первичное представление о системе ХАССП

(не раз слышали о ней 41% опрошенных), более того – 45% из принявших в опросе специалистов имеют опыт работы в составе рабочей группы ХАССП (рис. 2). Более того, 60% опрошенных специалистов не менее одного раза участвовали в различных семинарах по изучению принципов ХАССП.

Для сравнения: в 2010 году СМБПП на принципах ХАССП была внедрена только на 23%, а планировалась к разработке на 58% из опрошенных предприятий. При этом можно говорить о стремлении специалистов повысить свою компетентность: по сравнению с 2010 годом, когда о системе ХАССП подавляющее число специалистов (85%) ни разу не слышали или впервые услышали на проведенном кафедрой МСиС ОГУ семинаре, и только лишь 15% – имели опыт работы в составе рабочей группы ХАССП [3].

В настоящее время респонденты по-разному относятся к перспективам, связанным с внедрением системы ХАССП (рис. 3). Однако большинство (49%) специалистов предприятий полагают, что внедрение системы ХАССП позволит повысить безопасность выпускаемой продукции и оказываемых услуг и (или) степень доверия потребителя (36%). Лишь небольшая часть опрошенных специалистов считает, что внедрение системы ХАССП положительно отразится и на сбыте продукции.

Специалистам, принимавшим участие в опросе, был задан открытый вопрос: «Что Вам известно о ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции?», предполагающий формулировку ответа самим респондентом. Большинство из опрошенных даже не смогли написать свои варианты ответов. Отдельные респонденты отметили, что ТР ТС 021/2011 – основной нормативный документ по безопасности пищевой продукции в РФ.

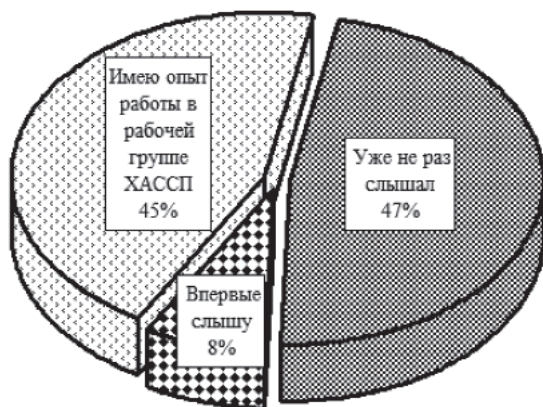


Рис. 2. Уровень знаний нормативных документов по СМБПП

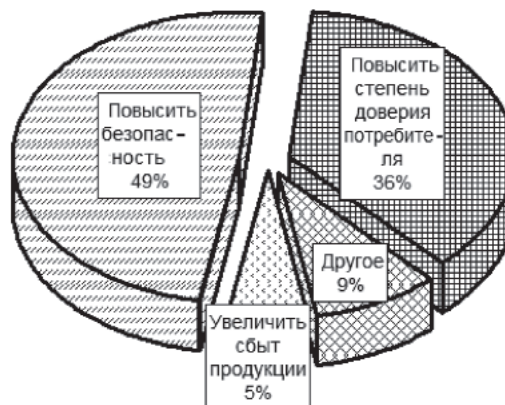


Рис. 3. Отношение респондентов к применению системы ХАССП

По нашему мнению, это свидетельствует о недостаточной информированности респондентов по вопросам применения и внедрения требований данного технического регламента в области обеспечения пищевой безопасности на территории РФ и территорий стран – участниц Таможенного союза.

Как известно, основными этапами разработки системы ХАССП являются: планирование системы, ее разработка и внедрение, а также обслуживание. Респонденты при опросе, указав на трудности, которыми сопровождается разработка плана ХАССП на их предприятиях (рис. 4), выделили одновременно несколько трудностей. Преобладающими препятствиями респонденты считают трудности при документировании (61%) и отсутствие специалистов (39%). Сопоставимыми, по мнению респондентов, являются трудности анализа рисков и выявления опасностей (18%), а также предполагаемое наличие большого числа ККТ (18%). Неправильное понимание методологии ХАССП и отсутствие концентрации усилий отдельные респонденты также считают препятствием при разработке плана ХАССП.

Однако по мере знакомства с планами ХАССП и углублением в проблему специалисты меняют свои представления

о типичных трудностях. Так, в 2010 году респонденты ООО «Пивоварни Ивана Таранова», имеющие пятилетний опыт работы, основными трудностями при разработке плана ХАССП выделили отсутствие концентрации усилий (50%). Существенно меньшее значение имели для них трудности при документировании (12,5%), при анализе рисков (12,5%), доступа к методическим документам (12,5%), а также неправильное понимание методологии ХАССП (12,5%) [3].

Структура трудностей при внедрении и обслуживании системы ХАССП на предприятиях также различается. Это видно из диаграмм, представленных на рис. 5, 6. Основными трудностями, которые пугают специалистов, являются трудности документооборота (48%), а также загруженность специалистов другими делами (27%).

В 2010 году большинство предприятий основные трудности внедрения ХАССП связывало с затратами на обучение (47%); еще не внедрив систему ХАССП, специалисты полагали, что препятствием к ее эффективному применению будет недостаток времени (28%) и трудности планирования (17%). Реальных трудностей при работе с документами эти предприятия себе даже не представляли [3].

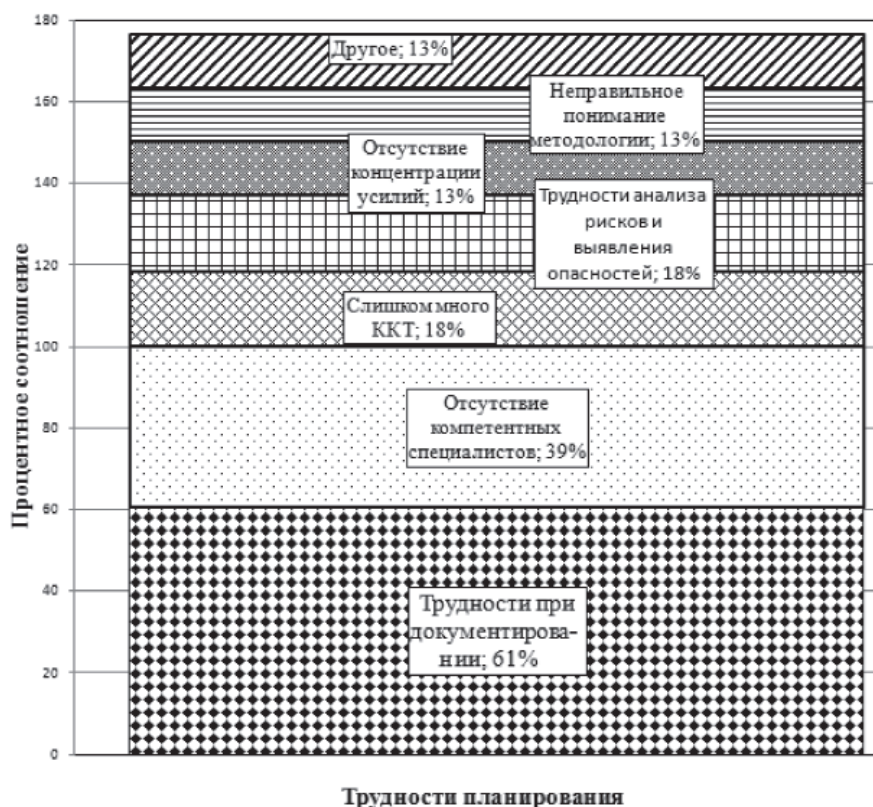


Рис. 4. Основные трудности при разработке плана ХАССП

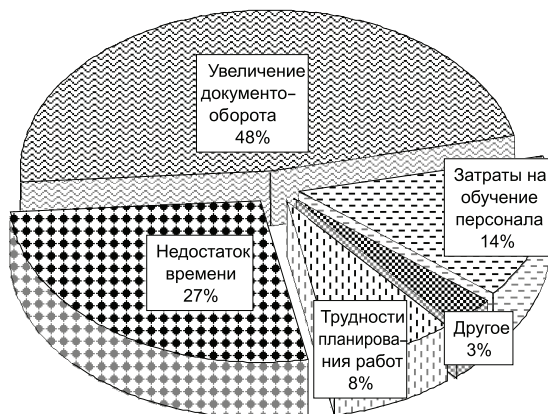


Рис. 5. Трудности внедрения процедур, основанных на принципах ХАССП

Высокую стоимость обслуживания СМБПП при внешнем аудите (47%), низкую преемственность из-за текучести кадров (34%), а также низкую мотивацию персонала (21%) выделили специалисты среди многочисленных трудностей поддержания системы (рис. 6).

Типичными трудностями обслуживания системы ХАССП для пищевых предприятий Оренбургской области в 2010 году были:

отсутствие материального стимулирования и трудности обучения, многочисленные аудиты, а также кадровый вопрос [3]. Причем респонденты не отметили трудностей, связанных с доступом к информации о системе ХАССП. Частый внутренний аудит выделили как основную проблему работники ООО «ПИТ», имеющие пятилетний опыт обслуживания системы ХАССП. Остальные предприятия, не имеющие опыта работы по обслуживанию системы ХАССП, не представляют себе этой проблемы и поэтому не отметили соответствующие трудности.

Существующие и предполагаемые трудности внедрения и обслуживания ХАССП, выявленные в процессе анкетирования, были обобщены нами в систематической диаграмме. На рис. 7 представлены только трудности первого и второго уровней систематизации. Последующая структуризация и систематизация причин позволили провести детализацию основных трудностей внедрения системы ХАССП на пищевых предприятиях г. Оренбурга и Оренбургской области и предложить перечень мероприятий в программу предварительных условий. Эти мероприятия рекомендованы нами предприятиям для внедрения в первую очередь.

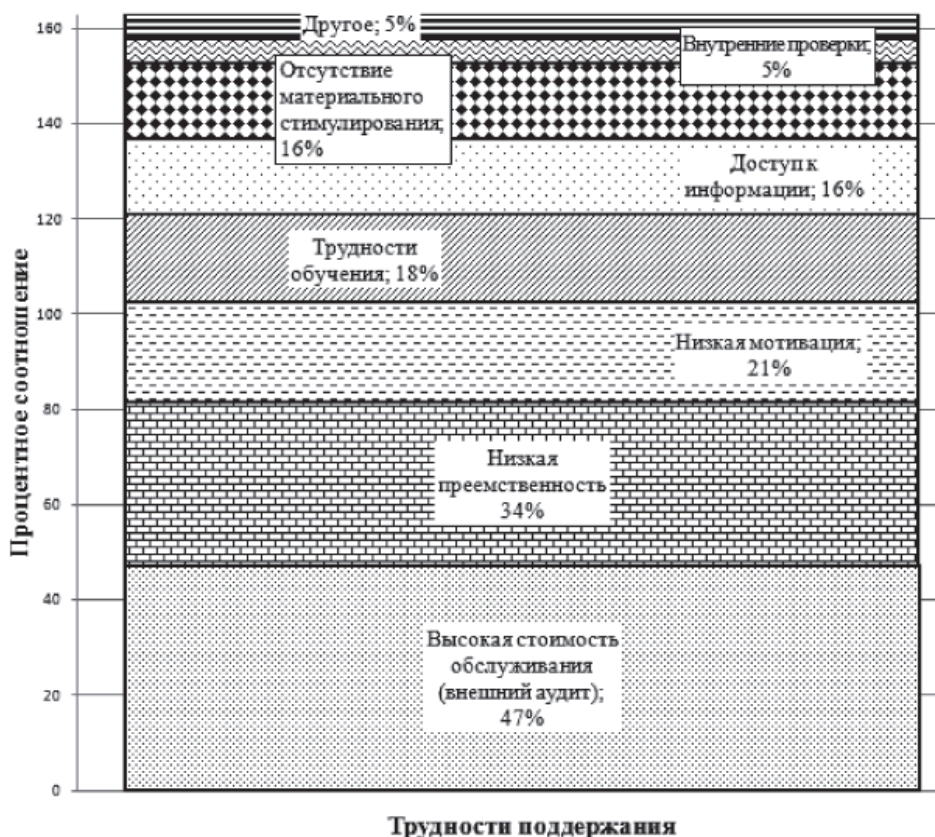


Рис. 6. Трудности поддержания системы менеджмента безопасности пищевых предприятий по принципам ХАССП

Полученные данные свидетельствуют, что наряду с объективными финансовыми трудностями и затратами на создание и поддержание системы ХАССП, а также создание инфраструктуры (здания, состояние производственных цехов и т.д.) существуют проблемы непонимания ее методологии со стороны руководства и персонала. Специалисты предприятий не продемонстрировали приверженности менеджменту как идеологии качества, что наряду с низкой культурой производства и недостаточной квалификацией специалистов свидетельствует, с одной стороны, о незаинтересованности

руководства и инженерных кадров (технологов и руководителей испытательных лабораторий) во внедрении СМК и системы пищевой безопасности (СМБПП).

С другой стороны, существующий опыт оренбургских предприятий, внедривших СМК и СМБПП, не демонстрирует их коммерческого успеха на рынке и не обеспечивает существенного повышения качества и безопасности выпускаемой ими продукции. Видимо, для серьезного «прорыва на рынке» нужны инструменты технологического менеджмента и технологические инновации.



Рис. 7. Систематическая диаграмма «Существующие и предполагаемые трудности внедрения и обслуживания ХАССП на пищевых предприятиях»: * – трудности, выявленные при анкетировании специалистов

Предприятия, уже работающие в системе обеспечения пищевой безопасности, основные трудности видят в разработке документации, выявлении ККТ и установлении вероятности возникновения риска на различных этапах технологического процесса. По причине отсутствия стимулов эти предприятия не ищут пути преодоления возникших препятствий. Все это

еще раз подтверждает, что успешное внедрение и обслуживание системы ХАССП определяет не только персонал. Однако при большой текучести квалифицированных кадров (характерной для предприятий) вряд ли удастся добиться стабильной выгоды от применения системы.

Анализируя возможности системы ХАССП и трудности, связанные с внедрением

и её обслуживанием на пищевых предприятиях Оренбургской области, необходимо отметить:

– в ХАССП отсутствует алгоритм действий, приводящих к конкретному положительному решению по обеспечению безопасности пищевой продукции;

– в нашей стране слабо развиты механизмы, стимулирующие предприятия для реализации идеологии ХАССП. Поэтому все опрошенные эксперты относятся к ХАССП либо как к «декоративному» мероприятию, либо вынуждены им заниматься в силу обязательности внедрения.

Возможным решением проблемы разработки, внедрения и поддержания системы безопасности пищевой продукции, основанной на принципах ХАССП, может быть аутсорсинг данного вида деятельности. Вопрос «Согласны ли Вы передать разработку и поддержание системы ХАССП аутсорсинговой компании?», заданный респондентам, выявил различную позицию во мнениях (рис. 8). Большинство специалистов планируют разработку и поддержание системы ХАССП на собственном предприятии самостоятельно, однако примерно четвертая часть из них доверилась бы аутсорсинговым компаниям в этом непростом, требующем специальных знаний процессе.

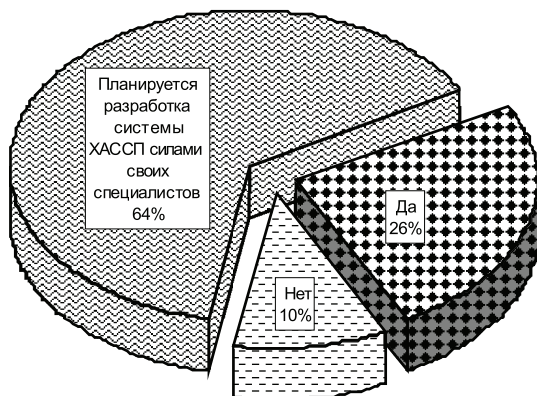


Рис. 8. Отношение респондентов к услугам аутсорсинговой компании по разработке и поддержанию системы ХАССП

Заключение

Результаты, полученные при обработке анкет специалистов, позволили выявить на пищевых предприятиях Оренбургской области ряд проблем, прежде всего таких, как недостаток компетентных специалистов в области ХАССП, отсутствие четких методических рекомендаций по разработке и внедрению системы ХАССП, нежелание специалистов и руководства увеличивать

объем документооборота, а главное – отсутствие опыта по разработке и внедрению системы.

Учитывая эти трудности, характерные для большинства пищевых и перерабатывающих предприятий Оренбургского региона, авторы статьи считают необходимым:

1. Привлечение аутсорсинговых компаний совместно со специалистами своего предприятия, знающими проблемы производства «изнутри», что позволило бы предприятиям в короткие сроки и с меньшими финансовыми затратами выполнить требования ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

2. Проведение семинаров по вопросам безопасности и демонстрации преимуществ от внедрения как коммерческих, так и ценных для безопасности и качества свойств пищевой продукции.

3. Оказание консультационных услуг по вопросам оценки влияния точности измерений на безопасность продукции, разработки научных рекомендаций и требований для контрольно-регламентирующих органов.

4. Оказание содействия в создании команд ХАССП на предприятиях для анализа всех возможных рисков.

5. Оказание образовательных услуг по повышению квалификации и профессиональной подготовке, проведение обучающих курсов и лекций.

Кроме этого, авторы статьи [4, 5] имеют собственный опыт по разработке системы ХАССП. Следуя принципам ХАССП, для пивоваренного производства выявлены критические точки технологического процесса, требующие мониторинга, и предложены корректирующие технологические мероприятия для устранения выявленных несоответствий [4]. Для максимального снижения токсичности пива и придания ему функциональных свойств пищевого напитка нами предложены технические решения по модернизации ряда основных этапов типового процесса пивоварения [5].

Авторы уверены, что существующие мировые тенденции внедрения СМК, в том числе и интегрированных (на базе МС ИСО 9000, ИСО 22000, ИСО 14000 и др.), послужат для предприятий Оренбургского региона стимулами к освоению подчас сложных механизмов и инструментов обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов. Но, прежде всего, предприятиям Оренбургской области необходимо изменить свой менталитет согласно этой методологии и международно-признанному подходу.

На наш взгляд, настало время осознать то, что обеспечение безопасности пищевой продукции – общая цель поставщиков сырья, производителей продукции, консалтинговых фирм, научно-производственных объединений и профильных кафедр вузов.

Список литературы

1. Мейес Т. Эффективное внедрение НАССР: учимся на опыте других / Т. Мейес, С. Мортимор; пер. с англ. В Широкова. – СПб.: Профессия. 2005. – 288 с.
2. Мортимор С. НАССР. Практические рекомендации / С. Мортимор, К. Уоллес. – пер. с англ. – 3-е изд., перераб. – СПб.: ИД «Профессия», 2014. – 520 с.
3. Третьяк Л.Н. Трудности внедрения системы ХАССП на пищевых предприятиях Оренбургской области // депонированная рукопись № 154-V2010 12.03.2010: ВИНТИ.
4. Третьяк Л.Н. Методологические основы оценки и управления качеством пива с заданными потребительскими свойствами и технология его производства в условиях информационной неопределенности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.15 // Московский государственный университет технологий и управления. – М., 2013. – 389 с.
5. Третьяк Л.Н. Технология производства пива с заданными свойствами: монография. – СПб.: Изд-во Профессия, 2012. – 463 с.

References

1. Mejes T. Jeftektivnoe vnedrenie NASSR: uchimsja na opyte drugih / T. Mejes, S. Mortimor; per. s angl. V Shirokova. SPb.: Professija. 2005. 288 p.
2. Mortimor S. NASSR. Prakticheskie rekomendacii / S. Mortimor, K. Uolles. per. s angl. 3-e izd., pererab. SPb.: ID «Professija», 2014. 520 p.
3. Tretjak L.N. Trudnosti vnedrenija sistemy HASSP na pishhevyyh predpriyatijah Orenburgskoj oblasti // deponirovannaja rukopis no. 154-V2010 12.03.2010: VINITI.
4. Tretjak L.N. Metodologicheskie osnovy ocenki i upravlenija kachestvom piva s zadannymi potrebitelskimi svojstvami i tehnologija ego proizvodstva v uslovijah informacionnoj neopredelennosti: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.18.15 // Moskovskij gosudarstvennyj universitet tehnologij i upravlenija. M., 2013. 389 p.
5. Tretjak L.N. Tehnologija proizvodstva piva s zadannymi svojstvami: monografija. SPb.: Izd-vo Professija, 2012. 463 p.

Рецензенты:

Медведев П.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Коммерция и маркетинг», Оренбургский филиал, ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», г. Оренбург;

Полищук В.Ю., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических и пищевых производств», ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург.

УДК 57.087.1

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА ЖИЗНЕННО ВАЖНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СОСТОЯНИЯ НОВОРОЖДЕННЫХ

Хассанин Хатем Мохамед Абдель Максуд

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: Hatem@tpu.ru*

Отдельные категории людей, в том числе, новорожденные дети, требуют постоянного мониторинга параметров их жизнедеятельности в стационарах или на дому. В течение нескольких первых дней жизни большинство недоношенных младенцев имеют склонность к нерегулярному дыханию. На сегодняшний день существует множество информационных систем для решения таких задач. В свете этих положений актуальность данной работы очевидна и заключается в необходимости рассмотрения информационной системы контроля за жизненно важными параметрами состояния новорожденных детей как проблемы комплексной. Для того чтобы наблюдать основные параметры жизни, мы нуждаемся в пунктуальности устройства, которое помогает в мониторинге новорожденных, с одной стороны, а с другой стороны помогает получить правильное решение по времени в экстренных случаях, без необходимости обращения к специалисту или врачам. Это искусственный интеллект – инструмент, который зависит от машинного обучения для данного вида информационной системы.

Ключевые слова: медицинские информационные системы, жизненно важные параметры, мониторинг состояния новорожденных

INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE MAIN VITAL PARAMETERS OF NEONATAL STATUS

Hassanin Hatem Mohamed Abdel Maksoud

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, e-mail: Hatem@tpu.ru

Certain categories of people, including newborn babies require constant monitoring parameters of their life in hospitals or at home. During the first few days of life, most premature newborns have a tendency to irregular breathing. Nowadays, there are many information systems for solving such problems. In this article, in the light of these provisions, the relevance of this work is evident and the need to address the information system for monitoring vital parameters of the state of newborns as a complex problem. In order to observe the basic parameters of life, we need punctuality device that assists in monitoring newborns, on the one hand and on the other hand to obtain a correct solution with respect to time in an emergency without the need to return to a specialist or a doctor. This artificial intellect- instrument, which depends on machine learning for this type of information systems.

Keywords: medical information systems, vital life parameters, monitoring of the newborn

Информационная система контроля за жизненно важными параметрами, установленная в медицинской аппаратуре, относится к медицинским диагностическим приборам для исследования физиологических параметров новорожденного и может быть использована главным образом для продолжительного дистанционного бесконтактного мониторинга параметров жизнедеятельности новорожденного, таких как движение, дыхание и сердцебиение [3].

Целью написания данной работы явилось изучение подходов к созданию информационных систем контроля за жизненно важными параметрами состояния новорожденных детей.

Информационной базой данной работы послужила современная научная и периодическая литература. Методологическую основу написания работы составляют сравнительно-сопоставительные и логические методы, а также методы обобщения и описания.

Наиболее часто у новорожденных отмечается нарушение ритма дыхания, оно может быть неровным, поверхностным, ускоренным или замедленным, может происходить остановка дыхания. Склонность к апноэ отмечается у двух групп новорожденных. Первая группа – недоношенные младенцы, рожденные до 34 недель беременности. В течение нескольких первых дней жизни большинство недоношенных младенцев имеют склонность к нерегулярному дыханию [2].

Для уменьшения вероятности летальных исходов необходимо вести постоянный мониторинг новорожденного в режиме сна при помощи специальной информационной системы контроля за жизненно важными параметрами и в случае остановки дыхания оповещать медицинский персонал или родителей ребенка. Также такие устройства могут быть использованы в сомнологии для наблюдения за физической активностью ребенка во время сна.

Для осуществления такого мониторинга существующие информационные системы контроля за жизненно важными параметрами можно разделить на два типа: контактные и дистанционные. Контактные информационные системы обеспечивают наибольшую степень достоверности измерения. Наиболее распространены приборы, использующие сенсорные коврики, размещаемые под матрасом кровати. Контактные приборы требуют особых условий расположения сенсора (жесткая ровная поверхность под матрасом) и кровати (вблизи несущих конструкций дома для минимизации внешних вибраций). Зачастую такие приборы требуют настройки уровня чувствительности перед началом работы. Датчик, располагающийся под матрасом, требует обслуживания для предотвращения образования высокой влажности в месте его расположения.

Задачей, на решение которой направлена данная система, является создание устройства для бесконтактного дистанционного мониторинга жизнедеятельности человека с целью оповещения наблюдателей при наличии признаков угрозы жизни и здоровью наблюдаемого (например, новорожденных детей во время их сна либо нахождения в лежачем положении). Техническим результатом изобретения является повышение надежности регистрации сигнала, вызванного движением тела новорожденного.

Технический результат достигается тем, что в устройство с информационной системой для дистанционного бесконтактного мониторинга параметров жизнедеятельности человека, содержащее измерительный модуль с блоком обработки сигнала и родительский блок (с отображением информации), причем измерительный модуль выполнен в виде передающего канала и двух независимых приемных каналов, приемные антенны которых, пространственно разнесенные относительно друг друга, связаны соответственно с последовательно соединенными фазовым детектором, полосовым фильтром и усилителем, выходы которых подключены соответственно к входам аналого-цифрового преобразователя, передающий канал реализован в виде последовательно соединенных формирователя коротких импульсов, СВЧ-генератора зондирующих сигналов и передающей антенны, а вторые входы фазовых детекторов первого и второго приемных каналов связаны соответственно через направленные ответвители с выходами СВЧ-генератора зондирующих сигналов передающего канала, кроме того, блок обработки сигнала выполнен на микроконтроллере, входы и выходы которого подключены соответственно к выходу ана-

лого-цифрового преобразователя и входу формирователя коротких импульсов, как и шинами связи соответственно с входами-выходами первого радиотрансивера, первой энергонезависимой памятью и системой контроля заряда, причем выход первого радиотрансивера соединен с приемо-передающей антенной первого радиотрансивера, а соответствующие входы-выходы системы контроля заряда связаны соответственно с перезаряжаемым аккумулятором и портом USB, в свою очередь родительский блок реализован на втором радиотрансивере, входы-выходы которого подключены соответственно к приемо-передающей антенне второго радиотрансивера, второй энергонезависимой памяти, дисплею на органических светодиодах, кнопкам, зуммеру, вибратору и стабилизатору с малым падением напряжения, соответствующий вход которого соединен с электрической батареей.

Функции измерительного модуля информационной системы контроля за жизненно важными параметрами [5]:

1. Измерение параметров жизнедеятельности человека.
2. Передача результатов измерения на родительский блок (с отображением информации).
3. Постоянная запись результатов измерения во внутреннюю энергонезависимую память либо на вставляемую в специальный разъем карту памяти.

Функции родительского блока (с отображением информационной системы контроля за жизненно важными параметрами):

1. Оповещение о результатах измерения параметров жизнедеятельности с помощью дисплея, зуммера и вибратора.
2. Настройка работы измерительного модуля с блоком обработки сигнала и родительского блока (с отображением информации) через пользовательское меню.
3. Контроль за состоянием работы устройства (уровень разряда батарей, уровень сигнала линии радиосвязи).

Обмен информацией между модулями осуществляется с помощью линии цифровой радиосвязи в нелицензируемом диапазоне частот ISM.

Оценка жизненно важных параметров в информационных системах контроля за жизненно важными параметрами чаще всего производится в баллах. Оценка выраженности каждого органа и системы организма производят в баллах (от 0 до 2). При оценке ЦНС 0 баллов присваивают при наличии нормальных рефлексов; 1 балл – при мышечной гипотонии, гиподинамии, гипорефлексии, вялой реакции на осмотр, 2 балла – при отсутствии сознания, мышечной

атонии, адинамии, арефлексии. Оценивая дыхательную систему, 0 баллов присваивают, если новорожденный обходится без кислорода, 1 балл присваивают, если новорожденный нуждается в кислороде через кислородную маску или носовой катетер, 2 балла присваивают, если новорожденный нуждается в искусственной вентиляции легких или находится на спонтанном дыхании с повышенным давлением на выдохе через носовые канюли или интубационную трубку; оценивая сердечно-сосудистую систему, 0 баллов присваивают при наличии нормальной ЧСС, нормального АД, 1 балл – при умеренной тахикардии (160–170 уд. в мин), 2 балла – при выраженной брадикардии (< 100 уд. в мин) или тахикардии (> 170 уд. в мин), артериальной гипотонии; оценивая печень, присваивают 0 баллов, если она не увеличена, 1 балл – при увеличении печени менее 2 см, 2 балла – при увеличении печени более 2 см; оценивая мочевыделительную систему, 0 баллов присваивают при наличии нормального почасового диуреза, 1 балл – при олигоурии, 2 балла – при анурии, гематурии; оценивая кожу, 0 баллов присваивают норме, 1 балл – при умеренной бледности с периоральным и акроцианозом, 2 балла – при выраженной желтухе, выраженной бледности, цианозе, кровоизлиянии диапедезного характера; оценивая температуру тела, 0 баллов присваивают при наличии нормальной температуры тела (36,5–37,2°C), 1 балл – при умеренной гипотермии (36,4–36,0°C), 2 балла – при гипертермии (> 37,2°C) или выраженной гипотермии (ниже 36,0°C) [7].

В ежедневной работе с информационной системой контроля за жизненно важными параметрами врач любой специальности обычно использует клиническую характеристику оценки тяжести состояния: удовлетворительное, среднетяжелое, тяжелое, очень тяжелое, крайне тяжелое. Количественная оценка тяжести состояния больного необходима не только для прогноза и риска летального исхода, но и для оптимизации интенсивной терапии. Такие шкалы, как APACHE, SAPS, MPM, SOFA, MODS, признаны многими реаниматологами и являются методом оценки взрослых больных в критическом состоянии. В неонатологии в силу анатомо-физиологических особенностей новорожденных, тем более недоношенных, их применение ограничено из-за невозможности широкого использования инвазивных методов исследований [6].

Наиболее известным и распространенным способом оценки состояния новорожденного ребенка при помощи информационной системы контроля за жизненно

важными параметрами является шкала Апгар для оценки тяжести асфиксии и эффективности лечебных мероприятий.

Ближайшим аналогом предлагаемого способа является клиническая оценка степени тяжести новорожденных в отделении реанимации.

Задачей информационной системы контроля за жизненно важными параметрами является создание простого, быстрого и эффективного способа оценки тяжести состояния недоношенного новорожденного путем определения тяжести состояния его органов и систем, оценки выраженности нарушений их функций и динамики состояния в процессе лечения. Задача достигается тем, что при помощи информационной системы производят оценку тяжести состояния недоношенных новорожденных в баллах в зависимости от результата клинических исследований основных органов и систем организма относительно существующих нормативных параметров. Нормативные параметры группируют по семи основным органам и системам организма, при этом оценку выраженности нарушений каждого органа и системы производят в баллах количеством от 0 до 2. Определяют степень тяжести состояния недоношенного новорожденного по формуле

$$q1 + q2 + q3 + q4 + q5 + q6 + q7 = Q,$$

где Q – суммарный балл, $q1, q2, q3, q4, q5, q6, q7$ – количество баллов по каждой из семи исследуемых систем и органов (табл. 1).

При этом, если величина Q суммарного балла принимает значения от 1 до 2 – это свидетельствует о состоянии средней степени тяжести, от 3 до 5 – это свидетельствует о тяжелом состоянии недоношенного новорожденного, если величина суммарного балла принимает значения от 6 до 9 – это свидетельствует об очень тяжелом состоянии недоношенного новорожденного, если величина суммарного балла принимает значения от 10 до 14 – это свидетельствует о крайне тяжелом состоянии недоношенного новорожденного. На основе многолетнего практического опыта учеными разработана система оценки состояния недоношенного новорожденного при помощи данных информационной системы контроля за жизненно важными параметрами. Она включает параметры, разбитые на группы, определяющие состояние семи основных органов и систем организма: центральная нервная система (ЦНС), обозначенная сокращенно $q1$, дыхательная – $q2$, сердечно-сосудистая – $q3$, мочевыделительная – $q4$, печень – $q5$, состояние кожных покровов –

q6 и температура тела – q7. Каждая из оцениваемых систем и органов оценивается в баллах от 0 до 2. Максимальная сумма баллов, обозначенная как Q , составляет 14 баллов. Степень выраженности клинических нарушений органов и систем недоношенного новорожденного приведена в табл. 1. Многолетнее клиническое наблю-

дение недоношенных новорожденных в динамике, поступающих на лечение в палаты интенсивной терапии и реанимации, позволило выделить четыре степени тяжести их общего состояния. Степень тяжести состояния недоношенного новорожденного, выраженная в баллах, отражена в табл. 2.

Таблица 1

Степень выраженности клинических нарушений
органов и систем недоношенного новорожденного в баллах

№ п/п	Системы и органы новорожденного	Баллы	Клинические признаки
1.	ЦНС (q1)	2	Отсутствие сознания, мышечная атония, адинамия, арефлексия
		1	Мышечная гипотония, гиподинамия, гипорефлексия, вялая реакция на осмотр
		0	Нормальные рефлексы, нормальный тонус
2.	Дыхательная система (q2)	2	Нуждается в ИВЛ или находится на спонтанном дыхании с повышенным давлением на выдохе через носовые канюли или интубационную трубку
		1	Нуждается в кислороде через кислородную маску или носовой катетер
		0	Обходится без кислорода
3.	Сердечно-сосудистая система (q3)	2	Выраженная брадикардия (< 100 уд. в мин) или тахикардия (> 170 уд. в мин), артериальная гипотония
		1	Умеренная тахикардия (160–170 уд. в мин)
		0	нормальная ЧСС, нормальное АД
4.	Печень (q4)	2	Увеличена более 2 см
		1	Увеличение печени менее 2 см
		0	Не увеличена
5.	Мочевыделительная система (q5)	2	Анурия, гематурия
		1	Олигоурия
		0	Нормальный почасовой диурез
6.	Кожа (q6)	2	Выраженная желтуха, выраженная бледность, цианоз, кровоизлияния диапедезного характера
		1	Умеренная бледность с периоральным и акроцианозом
		0	Норма
7.	Температура тела (q7)	2	Гипертермия (> 37,2°C) или выраженная гипотермия (ниже 36,0°C)
		1	Умеренная гипотермия (36,4–36,0°C)
		0	Нормальная температура (36,5–37,2°C)

Таблица 2
Степень тяжести состояния недоношенного новорожденного, выраженная в баллах

Суммарный балл (Q)	Степень тяжести общего состояния
1–2	Средней тяжести
3–5	Тяжелое
6–9	Очень тяжелое
10–14	Крайне тяжелое

Для оценки состояния каждого недоношенного новорожденного в течение всего процесса лечения ведут ежедневный протокол динамики состояния в информационной системе контроля за жизненно важными параметрами, который оформляют в виде табл. 3 [4].

Пример. Новорожденный родившийся в первую беременность, протекавшую с угрозой прерывания в 5–6 и 8–10 недель, с ОРВИ в 26 недель беременности, от позднего выкидыша в 27 недель, с массой 878 г, с оценкой по шкале Апгар в 5–6 баллов, поступил в отделение в возрасте 5 часов жизни в крайне тяжелом состоянии, с оценкой по заявляемому способу оценки тяжести состояния в 12 баллов (цианотичный оттенок кожных покровов, выраженные дыхательные нарушения, потребовавшие перевода плода на аппаратную искусственную вентиляцию легких, артериальная гипотония – 36/15 мм рт. ст., олигурия, гепатомегалия – 3 см, гипотермия – 35,5°C). В табл. 3 приведен ежедневный протокол тяжести состояния недоношенного новорожденного по органам в соответствии с системой баллов [1].

Суммарный балл (Q) при поступлении ребенка в отделение составил

$$q1(1) + q2(2) + q3(2) + q4(2) + q5(1) + q6(2) + q7(2) = 12 \text{ баллов,}$$

что соответствует крайне тяжелому состоянию и является прогностически неблагоприятным для жизни и исхода заболевания.

Таблица 3

Форма ежедневного протокола оценки тяжести состояния недоношенного новорожденного

№ п/п	Системы	Дата/Баллы																	
28/12	29/12	30/12	31/12	1/1	2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	7/1	8/1	9/1	10/1	11/1	12/1	13/1	14/1	15/1	16/1
1.	ЦНС (q1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.	Дыхательная система (q2)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3.	Сердечно- сосудистая система (q3)	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
4.	Печень (q4)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5.	Мочевыде- лительная система (q5)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.	Кожа (q6)	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7.	Температура тела (q7)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.	Суммарный балл (Q)	12	9	9	9	9	8	9	9	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8

Таким образом, информационная система контроля позволяет определить изменение какого-либо отдельного жизненно важного параметра новорожденного, а также состояние различных систем организма, что, в свою очередь, позволяет воздействовать на конкретную систему более оперативно.

Заключение

Подводя итог проведенного исследования, можно сформулировать следующие выводы и предложения по данной теме. Большинство информационных систем контроля за жизненно важными параметрами для дистанционного бесконтактного мониторинга параметров жизнедеятельности новорожденного содержат измерительный модуль с блоком обработки сигнала и родильский блок, причем измерительный модуль выполнен в виде передающего канала и двух независимых приемных каналов, приемные антенны которых, пространственно разнесенные относительно друг друга, связаны соответственно с последовательно соединенными фазовым детектором, полосовым фильтром и усилителем, выходы которых подключены соответственно к входам аналого-цифрового преобразователя.

Таким образом, при поступлении недоношенного новорожденного в отделение в течение нескольких минут при помощи информационной системы контроля за жизненно важными параметрами врач объективно оценивает тяжесть его состояния и назначает соответствующие обследования и лечение.

В последующий период ежедневно оценивает состояние ребенка и ведет протокол динамики состояния в баллах, в зависимости от выявления наиболее уязвимых систем своевременно и адекватно корректирует назначенную терапию. Благодаря динамическому наблюдению за состоянием недоношенного новорожденного врач может дать прогноз исхода заболевания.

Список литературы

1. Барашнев Ю.И. Актуальные проблемы перинатальной патологии новорожденных детей // *Мать и Дитя: материалы 8-го Всероссийского научного форума*. – М., 2012. – С. 77.

2. Боровиков В.П. STATISTIC A. Искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: Питер, 2013. – С. 31.

3. Варлатая М.В., Шаханов С.К. Предмет и задачи программно-аппаратной защиты информации // С.К. Шаханов, М.В. Варлатая. Аппаратно-программные средства и методы защиты информации: учебное пособие – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – С. 7.

4. Князев Ю.А. Гормонально-метаболические диагностические параметры: справочник / Ю.А. Князев, В.А. Беспалова. – М., 2010. – С. 15.

5. Мищенко В.А. Обучение искусственных нейронных сетей // *Современные проблемы науки и образования*. – Воронеж: ВГПУ, 2009. – № 6. – С. 9.

6. Ткаченко Л.В. Алгоритм выявления факторов риска для формирования репродуктивной функции женщин // *Мать и Дитя: материалы VI Российского форума*. – М., 2010. – С. 52.

7. Elmquist J. K. i Leptin activates neurons in ventrobasal hypothalamus; and brainstem / Ji K. Elmquist; R S: Ahima; Mi E. Flier // *J. Endocrinol.* – 2012. – Vol. 138 (2). – P. 839.

References

1. Barashnev YU.I. Aktualnyye problemy perinatalnoy patologii novorozhdennykh detey // *Mat i Ditya: materialy 8-go Vserossiyskogo nauchnogo foruma*. M., 2012. pp. 77.

2. Borovikov V.P. STATISTIC A. Iskustvo analiza dannykh na kompyutere. SPb.: Piter, 2013. pp. 31.

3. Varlataya M.V., Shakhonov S.K. Predmet i zadachi programmno-apparatnoy zashchity informatsii // S.K. Shakhonov, M.V. Varlataya. Apparatno-programmnyye sredstva i metody zashchity informatsii: Uchebnoye posobiye Vladivostok: DVG-TU, 2009. pp. 7.

4. Knyazev, YU.A. Gormonalno-metabolicheskiye diagnosticheskiye parametry: spravochnik / YU.A. Knyazev, V.A. Bepalova. M., 2010. pp. 15.

5. Mishchenko V.A. Obucheneye iskusstvennykh neyronnykh setey // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. Voronezh: VGPU, 2009. no. 6. pp. 9.

6. Tkachenko L.V. Algoritm vyyavleniya faktorov riska dlya formirovaniya reproduktivnoy funktsii zhenzhin // *Mat i Ditya: materialy VI Rossiyskogo foruma*. M., 2010. pp. 52.

7. Elmquist J. K. i Leptin activates neurons in ventrobasal hypothalamus; and brainstem / Ji K. Elmquist; R S: Ahima; Mi E. Flier // *J. Endocrinol.* 2012. Vol. 138 (2). pp. 839.

Рецензенты:

Фокин В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры биологической и медицинской кибернетики, ГБОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, г. Томск;

Берестнева О.Г., д.т.н., профессор кафедры прикладной математики Института кибернетики, ТПУ, г. Томск.

УДК 621.341.572

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНЫМ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ С ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

^{1,2}Юдинцев А.Г., ¹Рулевский В.М.

¹Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, Томск, e-mail: yudintsev-anton@mail.ru;

²Томский политехнический университет, Томск, e-mail: yudintsev-anton@mail.ru

В предложенной статье рассмотрены теоретические аспекты и вопросы практической реализации метода векторной широтно-импульсной модуляции для управления трехфазным автономным инвертором напряжения. Метод векторной широтно-импульсной модуляции получил широкое практическое применение с развитием микропроцессорной техники, ввиду того что позволяет получить увеличенный коэффициент использования выпрямленного сетевого напряжения а также снизить динамические потери, возникающие при переключении в транзисторах моста. Предложена структура цифрового формирователя импульсов управления и метод её проектирования. Суть метода составляет использование цифро-аналоговой системы управления, в которой вычисление сигнала ошибки осуществляется с помощью ПИД-регулятора, выполненного на операционном усилителе, а расчёт ширины импульсов управления выполняет цифровая часть системы. Представлены осциллограммы работы инвертора по результатам испытаний на физической модели, которые подтверждают корректное применение метода и показывают необходимое быстродействие.

Ключевые слова: трёхфазный автономный инвертор напряжения, векторная широтно-импульсная модуляция, система управления

THE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION CONTROL SYSTEM FOR THREE-PHASE VOLTAGE SOURCE INVERTER

^{1,2}Yudintsev A.G., ¹Rulevskiy V.M.

¹Scientific research institute of automatic and electromechanics of Tomsk state university of control systems and radioelectronics, Tomsk, e-mail: yudintsev-anton@mail.ru;

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: yudintsev-anton@mail.ru

In this paper, a theoretical aspects and issues of practical implementation of space vector pulse width modulation for control three-phase voltage source inverter is presented. The space vector pulse-width modulation method due to the development microprocessor techniques is widely practical used. This method allows to increase the rectified line voltage efficiency and to reduce switching loss in bridge transistors. The structure of digital pulse former control and its design method is proposed. The method essence is using digital-analog control system, in which calculation an error signal carried out by means analog PID regulator, but calculation of pulse width control the digital part of system is carried out. The waveform of the inverter by test results on a physical model is presented, which the adequacy of the method is confirmed and required performance is shown.

Keywords: three-phase voltage source inverter, space vector pulse width modulation, control system

В настоящее время, несмотря на развитый рынок трёхфазных автономных инверторов напряжения (АИН) и преобразователей частоты, изготавливаемых для электропривода переменного тока, а также для систем электропитания различных ответственных потребителей, существует область технических задач, решить которые с помощью предлагаемого рядом зарубежных фирм готового оборудования невозможно по техническому несоответствию с требованиями заказчика. Также следует отметить, что существует необходимость обеспечения оборонной промышленности страны отечественными разработками. В связи с этим, крайне актуальными являются исследование и разработка трехфазных АИН, применяемых в авиакосми-

ческой технике и оборудовании морского базирования. Одним из основных этапов разработки АИН является проектирование системы управления. Любое управление силовым преобразователем в конечном итоге сводится к регулированию времени открытого состояния силового транзистора по отношению к периоду его работы. Известно, что такой метод управления получил название широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1]. Если для сравнения рассмотреть область однофазных преобразователей, в которых преобладающее применение получили полумостовые и мостовые топологии (мощностью 0,5–3 кВт), то построение систем управления данными силовыми схемами не вызывает особых трудностей и перекрывается широким классом

производимых промышленностью интегральных ШИМ-контроллеров. При этом, учитывая последнюю тенденцию к построению цифровых (цифро-аналоговых) систем управления силовыми преобразователями [3], для класса трёхфазных инверторов разработано большое количество методов управления [6]. Но при их реализации для решения практических задач, требующих формирования выходного напряжения с повышенными частотами (1–2 кГц), систему управления необходимо разрабатывать собственными силами ввиду отсутствия готовых интегральных решений в виде трёхфазных ШИМ-контроллеров.

Известно, что АИН представляет собой статический преобразователь постоянного напряжения E_d в переменное с помощью полупроводниковых ключей (S_1 – S_6), в качестве которых могут использоваться полевые MOSFET-транзисторы, либо IGBT [2]. Управление транзисторами моста осуществляет система управления (СУ) в соответствии с одним из существующих алгоритмов, с целью обеспечения стабилизированным переменным трехфазным напряжением нагрузки (Z_n).

В настоящее время существуют три основных класса СУ: аналоговые, цифровые, смешанные (цифро-аналоговые). Аналоговые СУ уступают сегодня место смешанным, и вектор развития направлен на применение в силовых преобразователях чисто цифровых СУ [3]. Однако скорости работы современных микроконтроллеров и АЦП не столь высоки, чтобы обеспечить необходимое быстродействие цифровой СУ силового преобразователя, функционирующего на частотах 50–100 кГц и более.

Рассмотрим смешанную систему управления (рис. 1), в которой пропорционально-интегро-дифференцирующий (ПИД) регулятор выполнен традиционно с помощью операционных усилителей. Линейное напряжение с выхода инвертора измеряется датчиком напряжения (ДН) и в качестве сигнала отрицательной обратной связи суммируется с сигналом уставки $U_{уст}$. Сигнал с выхода ПИД регулятора масштабируется и переводится в цифровой ряд с помощью аналого-цифрового преобразователя, затем подаётся в цифровой формирователь импульсов (ЦФИ), который в соответствии с алгоритмом обеспечивает импульсами управления трёхфазный АИН, используя блок драйверов (БД) для согласования маломощных сигналов управления с низким входным сопротивлением силовых транзисторов. Особый интерес для исследований и разработки в представленной структурной схеме представляет ЦФИ, являющийся прототипом аналогового ШИМ-контроллера, формирующего импульсы управления в функции от суммы сигналов уставки и обратной связи.

Известно, что с развитием микропроцессорной техники широкое применение получили алгоритмы векторной ШИМ [5, 6]. При реализации этой разновидности ШИМ дважды за период выходной частоты каждая фаза инвертора становится неуправляемой и коммутации силовых ключей в ней не происходит. Для каждой фазы выходного напряжения, дважды за период выходной частоты, наступает интервал, равный $\pi/6$, когда значение напряжения этой фазы максимально по модулю (рис. 2). Согласно алгоритму векторной ШИМ на время этого

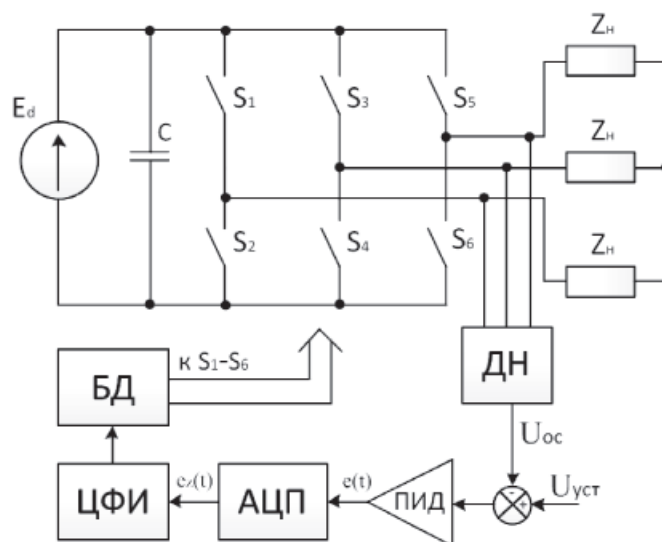


Рис. 1. Структурная схема АИН с цифро-аналоговой системой управления

интервала соответствующий ключ (S1–S6), должен оставаться открытым, вне зависимости от коэффициента модуляции K_m , который есть не что иное, как сигнал уставки $U_{уст}$ в относительных единицах, изменяющийся в диапазоне 0–1 (рис. 3).

Согласно методу векторной ШИМ период работы (2π) каждой фазы транзисторного моста разделен на 6 равных интервалов по 60 эл. град. ($\pi/3$). Развивая далее этот метод, разобьем каждый $\pi/3$ -интервал на 8 ШИМ-интервалов по 7,5 эл. град. ($\pi/24$).

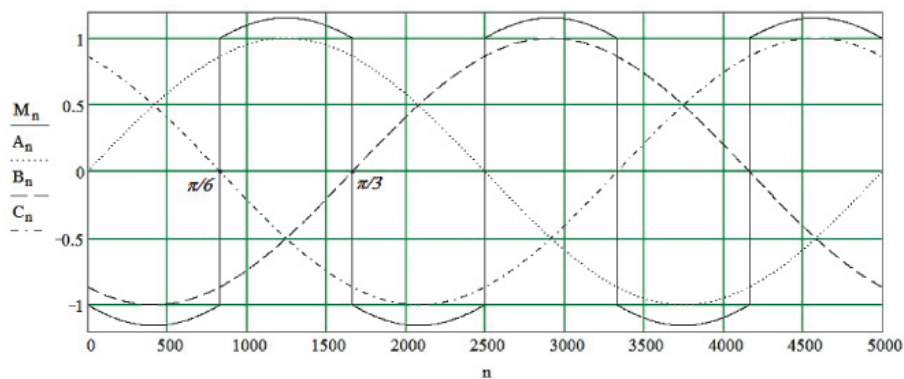
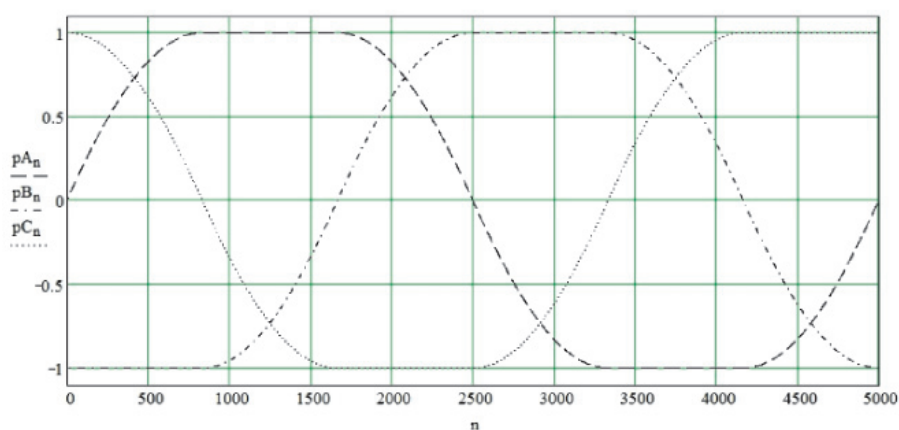
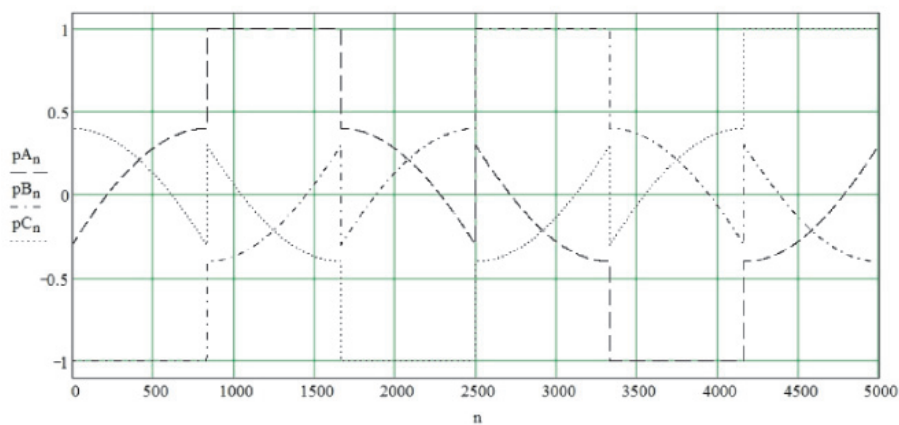


Рис. 2. A_n , B_n , C_n – сигналы фазных управляющих напряжений;
 M_n – сигнал предмодуляции 3-й гармоникой



а



б

Рис. 3. Управляющие сигналы, предмодулированные 3-й гармоникой
при коэффициенте модуляции $k_m = 1$ (а) и $k_m = 0,7$ (б)

Таким образом, модуляционное число ШИМ-преобразования $M = 48$. Рассмотрим случай, когда частота выходного напряжения АИН $f_{\text{вых}}$ выбрана равной 1 кГц, тогда частота коммутаций силовых ключей $f_k = M \cdot f_{\text{вых}} = 48$ кГц. В этом случае длительность периода ШИМ $T_{\text{ШИМ}} = 1/48 \cdot 10^3 = 20,833$ мкс. Практический опыт работы с современными полупроводниковыми приборами показывает, что в режиме жёсткой коммутации ключей работа на данной частоте является близкой к максимальной с точки зрения потерь на переключение в транзисторах. То есть для увеличения частоты выходного напряжения АИН необходимо использовать транзисторы с минимальными динамическими потерями.

Известно, что сигнал ШИМ формируется сравнением напряжения пилообразной развёртки с сигналом управления, при помощи устройства сравнения, например в аналоговых системах – это обычный аналоговый компаратор [1]. Так как в данном случае система формирования импульсов проектируется полностью цифровой, то сравнение производится на цифровых компараторах, а в качестве развёртки двухсторонней ШИМ на интервале $\pi/24$ используется треугольная цифровая развёртка, обеспечиваемая реверсивным счётчиком (рис. 4). Примем заполнение счётчика развёртки или цифрового генератора пилообразной развёртки (ЦГПР) равным $N = 500$, тогда на интервале $0 \dots \pi/48$ счёт идет от 0 до 500, а на интервале $\pi/48 \dots \pi/24$ – от 500 до 0.

Исходя из максимального значения заполнения $N = 500$ длительность периода генератора тактовых импульсов счётчика будет равной $T_{\text{ШИМ}}/2N = 20,833$ нс, частота соответственно равна 48 МГц. То есть частота микросхемы ПЛИС, на которой реализуется цифровой схема, должна быть не менее указанной частоты.

При реализации данного вида векторной ШИМ [5] дважды за период выходной частоты со сдвигом π в течение интервалов $\pi/3$ управление каждой фазы инвертора делают пассивным, т.е. коммутации силовых ключей с частотой ШИМ в ней не происходит. При этом открыт либо верхний, либо нижний фазный ключ в соответствии с алгоритмом управления. Другие две фазы с помощью ШИМ управляются разворотом длительности 48 кГц импульсов по синусоидальному закону. Таким образом средняя частота коммутации каждого силового ключа в 1,5 раза ниже по сравнению с классической ШИМ, что соответственно снижает потери на переключение.

Рассмотрим один из шести $\pi/3$ интервалов, когда один ключ полностью открыт, а два других переключаются с частотой 48 кГц, ширина импульсов при этом меняется во времени по гармоническому закону с предмодулированной 3-й гармоникой. Примем середину развёртки цифровой пины $N/2$ за уровень условной нулевой линии фазных развёрток (рис. 4), тогда синусоидальное напряжение развёртки фазы примет вид

$$U_{\phi} = \frac{N}{22} + \left[\frac{N}{\cos \frac{\pi}{6}} \cdot \frac{K_m}{6} \right] \cdot \sin(\theta),$$

где $\cos \frac{\pi}{6}$ – коэффициент увеличения амплитуды основной гармоники с учётом добавления 3-й; θ – начальная фаза, а напряжение предмодуляции для данного интервала

$$U_{\phi} = N - \frac{N}{22} + \left[\frac{N}{\cos \frac{\pi}{6}} \cdot \frac{K_m}{6} \right] \cdot \sin(\theta).$$

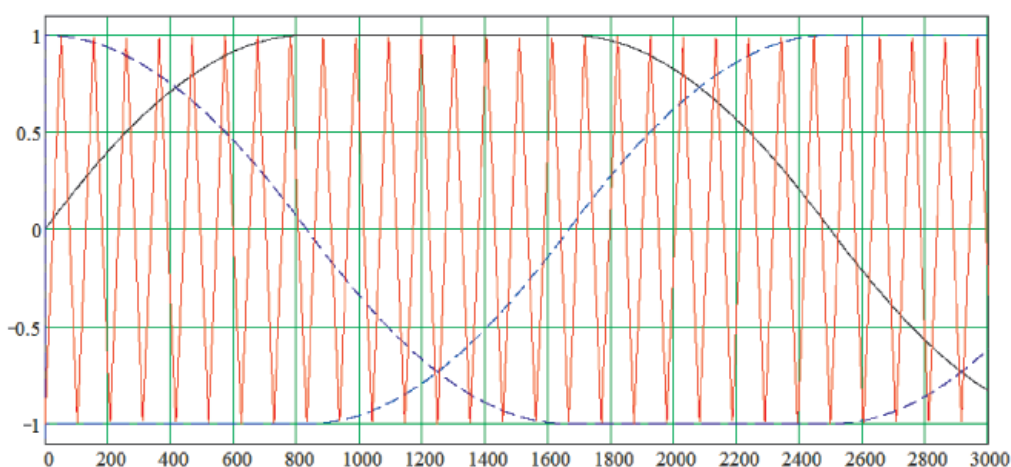


Рис. 4. Эталонные синусоидальные функции, предмодулированные 3-й гармоникой, и сигнал развёртки треугольной цифровой пины

Для второй и третьей фаз полученные выражения будут иметь такой же вид, но начальная фаза θ будет сдвинута на $2\pi/3$. После несложных преобразований получим формулы для подсчёта коэффициентов, представляющих собой ширину импульсов изменяемых во времени:

$$A_{1M} = N(1 - K \cdot \cos(\theta));$$

$$A_{2M} = \frac{N}{2} \left[2 - K (\cos(\theta) + \sqrt{3} \sin(\theta)) \right].$$

Расчёт полученных коэффициентов для каждого $\pi/3$ интервала одинаков, и их значение изменяется в функции от коэффициента модуляции K_M , значение которого определяется сигналом обратной связи, полученным с датчика напряжения и оцифрованным АЦП. Возможны два способа обработки полученной информации. Первый – расчёт интервальных коэффициентов A_1, A_2 «на лету», во время работы системы, второй – заполнение ячеек матрицы коэффициентов, с последующей выборкой строки с номером, соответствующим значению K_M в диапазоне 0–1, разбитым на

приемлемый (по точности стабилизируемого напряжения) ряд значений. Наиболее надёжным представляется второй вариант, когда ЦФИ будет состоять из микроконтроллера и ПЛИС. При этом на микроконтроллер возлагается функция начального подсчёта коэффициентов и заполнения матрицы значений с последующей передачей в ПЛИС, где полученная матрица используется для дальнейшей выборки значений с целью передачи их на входы цифровых компараторов.

Основной алгоритм работы ЦФИ реализуется на ПЛИС, функциональная схема ЦФИ представлена на рис. 5. Значения коэффициентов A_1, A_2 , рассчитаны по вышеуказанным формулам и записаны в блоки матриц. Каждый блок содержит по 256 строк, что соответствует 8 бит в двоичной системе (при 8-разрядном АЦП), значение коэффициента $K_M = 1$ соответствует максимальному значению выхода АЦП, т.е. заполнению выходного байта единицами. Таким образом, необходимо создать 16 матриц по 256 строк в каждой, по 8 матриц для каждого коэффициента, в соответствии с делением $\pi/3$ сектора на 8 интервалов.

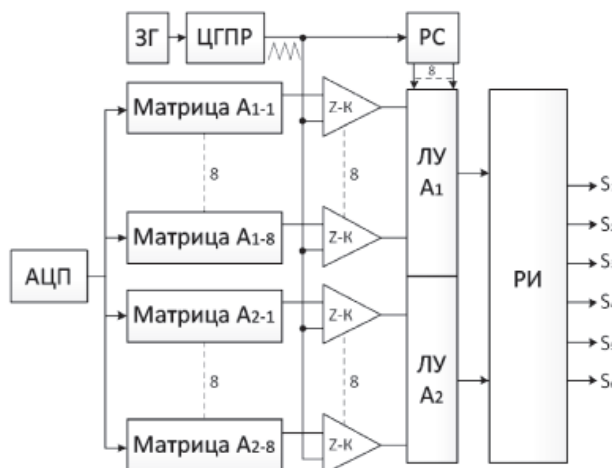


Рис. 5. Функциональная схема цифрового формирователя импульсов

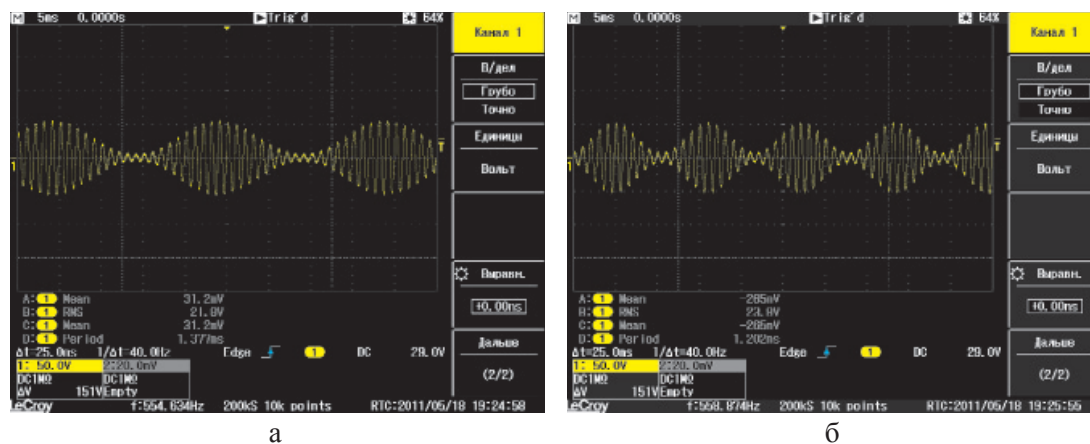


Рис. 6. Осциллограммы напряжения с выхода инвертора, при изменяющемся сигнале задания:
а – частота задания 50 Гц; б – частота задания 100 Гц

На цифровые компараторы Z-K подаются выбранные значения из соответствующей матрицы и цифровой сигнал пилообразной развертки, тогда на выходе каждого компаратора одновременно сформируется прямоугольный импульс необходимой ширины. С помощью регистра сдвига РС и логических устройств ЛУ, построенных на элементах логического И, формируются временные последовательности длительностью $\pi/3$, состоящие из 8-ми импульсов. Полученные таким образом временные последовательности подаются на устройство распределения импульсов РИ, которое в соответствии с организацией логики работы ключей моста подает на соответствующий транзистор необходимый сигнал управления.

Практическая реализация разработанного метода [4] осуществлена с помощью устройства, содержащего 32-битный контроллер со встроенным АЦП и микросхемы ПЛИС, на которой спроектирован непосредственно ЦФИ. С целью проверки быстродействия работы системы на вход АЦП был подан синусоидальный сигнал с различной частотой (рис. 6), при этом осциллограммы снимались с выхода инвертора. Из представленных осциллограмм видно, что СУ обладает устойчивостью и хорошими динамическими свойствами.

Таким образом, разработанная с помощью метода векторной ШИМ цифро-аналоговая система управления 3-фазным АИН [4] обладает необходимым быстродействием для формирования и стабилизации выходного напряжения повышенной частоты (1–2 кГц), имеет улучшенные массогабаритные показатели и может использоваться для любого 3-фазного АИН с симметричной нагрузкой.

Список литературы

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учеб. пособие – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

3. Мелешин В.И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В.И. Мелешин, Д.А. Овчинников – М.: Техносфера, 2011. – 576 с.

4. Патент РФ № 2011152344/07, 21.12.2011. Мишин В.Н., Пчельников В.А., Рулевский В.М., Юдинцев А.Г., Иванов В.Л. Устройство для управления трёхфазным автономным инвертором с помощью векторной ШИМ // Патент России № 117747. 2012. Бюл. № 18.

5. Чаплыгин Е. Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией: учебное пособие по курсу «Моделирование электронных устройств и систем» – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 56 с.

6. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УрОРАН, 2000. – 654 с.

References

1. Zinov'ev G.S. Osnovy silovoy elektroniki / G.S. Zinov'ev; Ucheb. Posobie Izd. 2-d, ispr. I dop. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003. 664 p.
2. Meleshin V.I. Tranzistornaja preobrazovatel'naja tehnika / V.I. Meleshin. Moskva: Tehnosfera, 2006. 632 p.
3. Meleshin V.I. Upravlenie tranzistornymi preobrazovatelyami elektroenergii / V.I. Meleshin., D.A. Ovchinnikov Moskva: Tehnosfera, 2011. 576 p.
4. Patent RF no. 2011152344/07, 21.12.2011. Mishin V.N., Pchel'nikov V.A., Rulevsky V.M., Yudintsev A.G., Ivanov V.L. Ustrojstvo dlya upravlenija trehfaznym avtonomnym invertorom s pomosh'ju vektornoj PWM // Patent Russia no. 117747. 2012. Byul. no. 18.
5. Chaplygin E.E. Spectral'noe modelirovanie preobrazovatelej s PWM. Uchebnoe posobie po kursu «Modelirovanie elektronnyh ustrojstv i system» M.: Izd-vo MEI, 2009. 56 p.
6. Shrejner R.T. Matematicheskoe modelirovanie elektroprivodov peremennogo toka s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami chastoty. Ekaterinburg: UrORAN, 2000. 654 p.

Рецензенты:

Лукутин Б.В., д.т.н., профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Михальченко С.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой промышленной электроники, факультета электронной техники, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск.

УДК 691.3

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Ядыкина В.В., Траутвайн А.И.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: rector@intbel.ru

В статье исследована возможность повышения качества строительных материалов на основе неорганического вяжущего путем введения механоактивированных наполнителей. На основе полученных ранее результатов дан анализ зависимости между временем помола в различных мельницах, удельной поверхностью исследуемых материалов и концентрацией обменных центров. Представлены результаты по влиянию механоактивации на прочностные характеристики системы «цемент – тонкодисперсный наполнитель». Использование в составе образцов отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице, привело к росту предела прочности при сжатии на 72%, кварцевого песка – 60%; при помоле в вибрационном истирателе изменение составило 18% в обоих случаях. Предел прочности при изгибе увеличился на 43 и 37% соответственно для шаровой планетарной мельницы; на 12 и 13% для вибрационного истирателя. Полученные результаты дают основание полагать, что применение активных наполнителей в цементных системах позволит заменить часть вяжущего вещества без потери прочности и корректировок водоцементного отношения, что является одним из аспектов создания энерго- и ресурсосберегающей технологии в области строительного материаловедения.

Ключевые слова: механоактивация, тонкодисперсный наполнитель, измельчение, удельная поверхность, концентрация обменных центров, прочность, цементный композит

THE INFLUENCE OF THE ACTIVE FILLER BASED ON THE TECHNOGENIC SILICEOUS RAW MATERIALS ON THE STRENGTH CEMENT SYSTEMS

Yadykina V.V., Trautvain A.I.

Belgorod Shukhov state technological university, Belgorod, e-mail: rector@intbel.ru

The paper investigated the possibility of improving the quality of building materials based on inorganic binder by introducing mechanically activated fillers. On the basis of previous results, the analysis of the relationship between the beating time in different mills, the specific surface of the material and the concentration of exchangeable sites. Presented results on the influence of mechanical activation on the strength characteristics of the «cement – fine filler». Use of the composition of the waste of the wet magnetic separation, crushed in a ball mill, planetary, led to an increase in compressive strength at 72% quartz sand – 60%; when grinding in an attritor vibration change by 18% in both cases. Flexural strength increased by 43 and 37%, respectively, for a planetary ball mill; 12 and 13% for a vibratory eraser. The results obtained suggest that the use of active fillers in cement systems will replace part of the binder, without loss of strength and adjustments water-cement ratio, which is one of the aspects of the creation of energy-saving technologies in the field of building materials.

Keywords: mechanoactivation, finely divided excipient, milling, the specific surface area, the concentration of the exchangeable sites, the strength, cement composite

Необходимым элементом получения высококачественных материалов и изделий является управление сложными физико-химическими процессами, происходящими в зоне контакта при формировании структуры композиционных материалов [2].

К характерным особенностям бетонов нового поколения следует отнести введение в их состав дисперсных наполнителей и высокоактивных минеральных добавок [2–3, 5].

Исследованию различных видов наполнителей и физико-химическому взаимодействию их с цементом посвящено множество работ [1, 4, 6–8, 11]. Установлено, что при использовании определенных наполнителей возможно снижение расхода цемента без ухудшения морозостойкости и водонепроницаемости бетона [1, 4]. В работах [6, 8]

показано, что микронаполнитель оказывает влияние на структуру и свойства цементных систем, на характер кристаллизации новообразований. Использование в качестве наполнителя термообработанного при 660 °С молотого кремнеземсодержащего песка повышает прочность бетона, а при введении молотого диабаса можно заменить до 50% цемента без снижения прочности за счет повышения степени гидратации алита [11]. В работе [7] отмечается, что свойства микроструктуры определяются явлениями, протекающими на контакте твердых и жидких фаз, и зависят от объемного содержания наполнителей, соотношения дисперсности вяжущего и наполнителей, физико-химической активности поверхностей контактирующих фаз, концентрации вяжущего

вещества, количества опасных для данной структуры дефектов и других факторов.

Таким образом, можно заключить, что контактная зона на границе «вяжущее – заполнитель» не только не является дефектным местом структуры бетона, но, наоборот, может способствовать ее упрочнению. Пути упрочнения зоны контакта согласно [12] являются: улучшение геометрии контакта между вяжущим и заполнителем за счет очистки поверхности; выбор портланд-цемента с учетом его адгезионных свойств, наиболее благоприятных для данного заполнителя и условий твердения бетона; интенсификация взаимодействия между вяжущим и кварцевым заполнителем в нормальных условиях за счет активизации его поверхности.

Исходя из того, что поверхность дисперсных материалов отличается от объема повышенным энергетическим потенциалом и наличием избыточной поверхностной энергии, многие процессы протекают самопроизвольно именно на ее активных центрах [11]. Геометрия расположения и энергетические особенности этих центров обычно не требуют больших значений энергии активации реакций, протекающих на них. Поэтому активные центры поверхности заполнителей и наполнителей в первую очередь будут обуславливать их реакционную способность и участвовать во взаимодействии с гидратирующим цементом. Установлено [12], что концентрацию активных поверхностных центров можно увеличить путем физико-химической обработки наполнителей.

Традиционные наполнители для строительных материалов получают путем помола, и только небольшой процент сырья может применяться в существующем состоянии, поэтому значительный интерес представляет анализ получения реакционно-способных наполнителей с учетом влияния помольного оборудования.

Технологическое развитие аппаратов для измельчения и активации связано с появлением новых конструкционных материалов, повышением требований к дисперсности и форме частиц измельчаемых материалов и появлением материалов, нуждающихся в измельчении, с самыми разнообразными физико-механическими свойствами, а также необходимостью снижения энергоемкости процесса помола. Номенклатура помольных агрегатов, отличающихся конструктивными особенностями, производительностью и другими характеристиками, постоянно увеличивается.

Целью данного исследования явилось выявление наиболее рационального помольного агрегата не только с точки зрения увеличения дисперсности получаемого материала, но и повышения его реакционной способно-

сти. Практический интерес также представляет изучение влияния поверхностных свойств измельчаемых материалов на физико-механические свойства конечного композита.

Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали дисперсное техногенное сырье Курской магнитной аномалии (КМА) из кварцитопесчаника и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС). Для сравнения был использован рядовой кварцевый песок и отсев дробления гранита Павловского карьера. Размер частиц диспергируемого сырья не превышал 1,25 мм. Измельчение производили в четырех лабораторных помольных агрегатах: шаровой и шаровой планетарной мельницах, вибромельнице, вибрационном истирателе.

При выполнении работы применяли комплекс современных методов исследований. Величину удельной поверхности исследовали на приборе Товарава и методом БЭТ (Брунауэра – Эммета – Теллера). Гранулометрический анализ распределения частиц проводили на лазерном анализаторе частиц Microsizer.

Активирующая способность помольных агрегатов оценивалась по концентрации активных кислотных центров Бренстеда на поверхности размалываемого материала, которую определяли аналитически с помощью титрования щелочного раствора кислотой. Согласно современным работам в области химии поверхности и строительного материаловедения, именно кислотные центры Бренстеда оказывают существенное влияние на взаимодействие с вяжущими материалами.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из основных параметров, влияющих на эффективность помола, отличающим мельницы друг от друга, является способ воздействия мелющих тел на материал: раздавливание (сжатие куска), излом (изгиб), раскалывание (эквивалентно растяжению), истирание и удар. Можно предположить, что принцип измельчения материалов в различных мельницах может по-разному влиять на дисперсность, гранулометрический состав, форму и шероховатость поверхности частиц, а также на концентрацию активных поверхностных центров минеральных наполнителей.

Исследования, проведенные с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer, показали [17], что порошки, измельченные в шаровой планетарной, шаровой и вибромельнице, имеют довольно широкий диапазон распределения частиц, причем отмечаются максимумы и минимумы в аналогичных областях размерного распределения. В то время как тонкомолотые наполнители, измельченные в вибрационном истирателе, в которой реализуется в основном лишь один способ воздействия мелющих тел на материал (ударный и истирающий соответственно), характеризуются довольно узкой гранулометрией.

В работах [10, 13–16] установлено, что размол кремнеземсодержащего сырья происходит по-разному. Самой высокой размолоспособностью, установленной при помоле отходов ММС и кварцитопесчаника, обладает шаровая планетарная мельница, а минимальная размолоспособность установлена для кварцевого песка и гранита при использовании вибрационного истирателя и шаровой мельницы.

Анализ рассматриваемого помольного оборудования показал, что наибольшей активирующей способностью обладает шаровая планетарная мельница, в которой реализуется ударный принцип измельчения. В результате помола в ней концентрация протонодонорных центров увеличивается в 4,4–2,1 раза, в то время как использование вибрационного истирателя и шаровой мельницы дает увеличение активности лишь в 2,4–1,6 раза. Из исследуемых материалов максимальное значение величины концентрации активных центров, 79 мк-экв/г, достигается на поверхности отходов ММС при помоле в шаровой планетарной мельнице против 23 мк-экв/г для кварцевого песка, измельченного в вибрационном истирателе.

В работе [9] установлено, что при хранении свежемолотых минеральных порошков происходит падение концентрации активных центров, причем стабильно низкое

их количество достигается через сутки. При этом процесс потери активности поверхности происходит за счет адсорбции молекул воды и в значительной степени зависит от влажности окружающей среды, поэтому необходимо вводить механоактивированный наполнитель в бетонную смесь с минимально возможным временным интервалом после помола.

Для подтверждения гипотезы относительно положительного влияния механоактивации наполнителей на усиление их адгезии к цементу и повышения структурообразующей роли были изготовлены образцы – балочки размером 25×25×100 мм при соотношении цемент:наполнитель – 1:3. Удельная поверхность каждого наполнителя при этом подбиралась экспериментально и составляла 350 м²/кг.

Испытания проводились на свежемолотом материале и для сравнения выдержанном на воздухе в течение недели после помола (стабильное состояние). Абсолютные значения пределов прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек на различных наполнителях представлены в таблице. Прирост прочности образцов со свежемолотыми наполнителями из кварцитопесчаника, песка, гранита и отходов ММС по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии представлен на рис. 1–2.

Показатели предела прочности при сжатии и изгибе образцов со свежемолотым материалом и выдержанным на воздухе после помола

Наименование материала	Свежемолотый		В стабильном состоянии	
	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа
Шаровая планетарная мельница				
Песок	2,89	1,26	1,88	0,92
Гранит	3,26	1,49	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	4,10	1,64	2,74	1,25
Отходы ММС	5,04	1,80	2,92	1,25
Вибромельница				
Песок	2,65	1,11	1,88	0,92
Гранит	3,08	1,36	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,52	1,41	2,74	1,25
Отходы ММС	4,32	1,54	2,92	1,25
Вибрационный истиратель				
Песок	2,22	1,04	1,88	0,92
Гранит	2,56	1,24	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,15	1,37	2,74	1,25
Отходы ММС	3,46	1,39	2,92	1,25
Шаровая мельница				
Песок	2,48	1,04	1,88	0,92
Гранит	3,12	1,42	2,28	1,15
Кварцитопесчаник	3,45	1,38	2,74	1,25
Отходы ММС	3,82	1,42	2,92	1,25

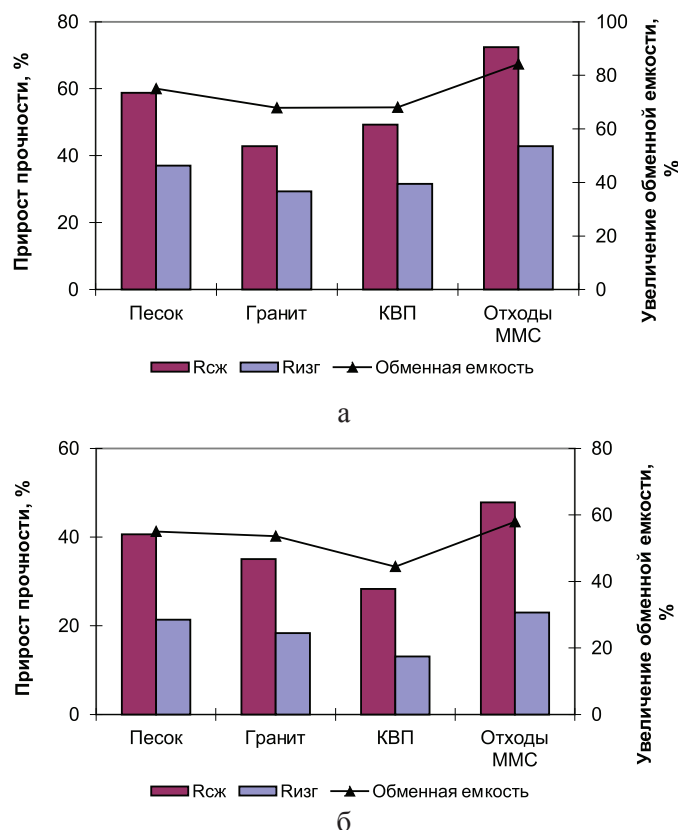


Рис. 1. Прирост прочности образцов на свежеразмолотых наполнителях по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии, измельченных в различных мельницах:
а – шаровая планетарная мельница; б – вибромельница

Анализ представленных результатов показал, что образцы на свежеразмолотом наполнителе имеют более высокие значения прочности по сравнению с образцами из контрольной серии, при этом увеличение прочности наблюдается для композитов с использованием наполнителей из всех исследуемых материалов. Наибольшая прочность отмечена у образцов с применением кварцитопесчаника и отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице. Прочность на растяжение при изгибе составила 1,64 и 1,80 МПа, при сжатии – 4,10 и 5,04 МПа соответственно. Гранит, кварцевый песок обеспечивают прочность при изгибе 1,49 и 1,26 МПа, при сжатии – 3,26 и 2,89 МПа соответственно. При измельчении наполнителя в вибро- и шаровой мельницах наблюдается аналогичное распределение прочностей при их меньшем численном увеличении.

Использование вибрационного истирателя эффективно только для кварцитопесчаника и отходов ММС, так как пределы прочности при сжатии образцов с наполнителем из кварцевого песка или гранита, как в свежеразмолотом, так и в стабильном состоянии, примерно равны и составляют

2,22 и 1,88 МПа для кварцевого песка; 2,56 и 2,28 МПа для гранита. Схожая тенденция наблюдается с величиной предела прочности при изгибе. Данный показатель для образцов на кварцевом песке в активном и стабильном состоянии составляет 1,04 и 0,92 МПа соответственно, для образцов на граните – 1,24 и 1,15 МПа.

Из данных, представленных на рис. 1–2, видно, что, максимальный прирост прочности на свежеразмолотом наполнителе в сравнении с наполнителем в стабильном состоянии, отмечается при использовании вибро- и шаровой планетарной мельниц для кварцевого песка и отходов ММС. Наименьший активирующий эффект на данных наполнителях демонстрирует помол в вибрационном истирателе.

Использование в составе образцов отходов ММС, измельченных в шаровой планетарной мельнице, привело к росту предела прочности при сжатии на 72%, кварцевого песка – 60%; при помоле в вибрационном истирателе изменение составило 18% в обоих случаях. Предел прочности при изгибе увеличился на 43 и 37% соответственно для шаровой планетарной мельницы; на 12 и 13% для вибрационного истирателя.

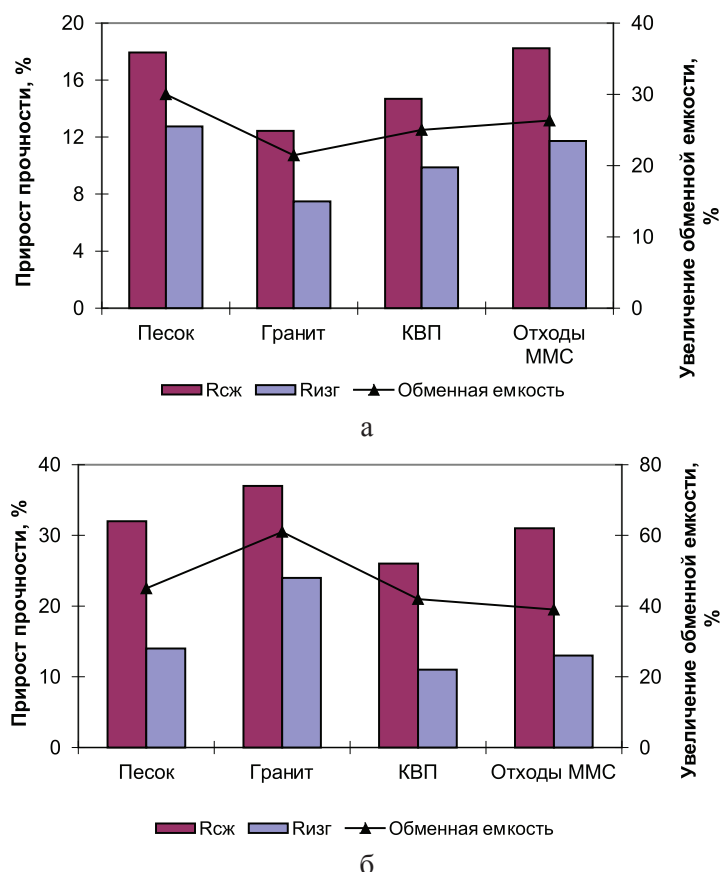


Рис. 2. Приrost прочности образцов на свежеразмолотых наполнителях по сравнению с наполнителями в стабильном состоянии, измельченных в различных мельницах: а – вибрационный истиратель; б – шаровая мельница

Следует отметить, что полученные значения пределов прочности при обеих схемах нагружения образцов коррелируют с изменением концентрации активных адсорбционных центров на поверхности наполнителей, получаемых при помоле в различных мельницах. Так, например, применение шаровой планетарной мельницы (рис. 1, а) позволило достичь повышения обменной емкости до 84% для отходов ММС по сравнению с 68% при измельчении гранита. Применение наполнителя с более высокой обменной емкостью привело к увеличению предела прочности образцов при сжатии на 72%, предела прочности при растяжении при изгибе – на 43% по сравнению с 43 и 29% соответственно для наполнителя из гранита.

Можно заключить, что повышение физико-механических показателей образцов с использованием механоактивированных наполнителей является следствием ряда причин: изменения гранулометрического состава, морфологии частиц и структуры поверхности, количества активных адсорбционных центров. Очевидно, что удельная поверхность порошков и их гранулометрия не изменяются при хранении после помола,

а форма частиц оказывает влияние лишь на механическое сцепление на границе раздела фаз. Вместе с тем количество активных центров поверхности в значительной степени зависит от времени, условий хранения наполнителя и типа помольного оборудования, что отчетливо отражается на показателях свойств цементного композита. Наиболее реакционноспособными являются материалы, измельченные в шаровой планетарной мельнице, наименее – в вибрационном истирателе.

Заключение

Полученные результаты дают основание полагать, что применение активных наполнителей в цементных системах позволит заменить часть вяжущего вещества без потери прочности и корректировок водоцементного отношения, что является одним из аспектов создания энерго- и ресурсосберегающей технологии в области строительного материаловедения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова № 2011-ПП-146.

Список литературы

1. Асирян А.М. Некоторые особенности взаимодействия компонентов в высокопрочных бетонах // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 6. – С. 37–40.
2. Баженов Ю.М. Новому веку – новые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 2. – С. 10–11.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Эффективность цементов с минеральными добавками в бетонах // Цемент. – 2002. – № 2. – С. 41–43.
4. Демьянова В.С., Калашников В.И., Вернигорова В.Н., Ильина И.Е. Высокодисперсные органо-минеральные модификаторы цементного камня и бетона // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 49–53.
5. Каприелов С.С. Модифицированные бетоны нового поколения в практике современного транспортного строительства // Дороги России XXI века. – М., 2003. – № 1. – С. 62–65.
6. Королёв Е.В., Очкина Н.А., Баженов Ю.М. и др. Реологические свойства радиационно-защитных строительных растворов на основе высокоглиноземистого цемента // Строительные материалы. – М.: Изд-во Наука, 2004. – № 3. – С. 8–11.
7. Соломатов В.И., Вывроной В.Н. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59–64.
8. Соломатов В.И., Грдзешвили Н.Д., Казанский В.М. и др. Микроструктура и свойства цементного камня с тонкомолотыми пористыми наполнителями // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1991. – № 2. – С. 35–41.
9. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В. Получение реакционноспособных наполнителей из техногенного сырья: монография. – Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 217 с.
10. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Особенности механоактивированных минеральных порошков // Строительные материалы. – 2011. – № 11. – С. 32–34.
11. Шангина Н.Н. Прогнозирование физико-механических характеристик бетонов с учётом донорно-акцепторных свойств поверхности наполнителей и заполнителей: автореф. дис... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург, – 1998. – 45 с.
12. Ядыкина В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья: монография. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 374 с.
13. Ядыкина В.В., Траутвайн А.И., Гридчин А.М. Анализ регрессивных зависимостей влияния природы материалов и режимов их измельчения на свойства асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4. – С. 26–29.
14. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Preparation of the silica-reactive filler material // Middle-East Journal of Scientific Research 18 (10): 1499–1504, 2013. ([http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18\(10\)13/19.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18(10)13/19.pdf)).
15. Yadykina V., Gridchin A., Trautvain A. Concrete road with fillers, modified mechanical activation. – 18 ibausil, Weimar (Deutsch.), 2012. – pp. 2–0568 – 2–0577.
16. Yadykina, V.V., Trautvain A.I. Increased activity of mineral powder, resulting in various grinding mill // in Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Alexandra D. Markova. Vol. J11307 (Kupriyenko SV, Odessa, 2013) – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J11307.pdf> (date: may 2013) – J11307–174.
17. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. Mechanical activation of mineral powder for asphalt // «Time and Space – coordinate system of human development»: materials digest of the VIII-th International Scientific and Practical Conference, Odessa, London, August 25 – September 1, 2011. – Odessa: In Press, 2011. – P. 42–44.

References

1. Asiryan A.M. *Nekotoryye osobennosti vzaimodeystviya komponentov v vysokoprochnykh betonakh*. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* (Proceedings of the universities. Building). 2002. no. 6. pp. 37–40.
2. Bazhenov Y.M. *Novomu veku – novyye betony. Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* (Building materials, equipment, technologies of XXI century). 2000. no. 2. pp. 10–11.

3. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Effektivnost tsementov s mineralnymi dobavkami v betonakh*. *Tsement* (Cement). 2002. no. 2. pp. 41–43.
4. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Vernigorova V.N., Ilina I.Ye. *Vysokodispersnyye organo-mineralnyye modifikatory tsementnogo kamnya i betona*. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* (Proceedings of the universities. Building). 2003. no. 3. pp. 49–53.
5. Kapriylov S.S. *Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya v praktike sovremennogo transportnogo stroitelstva*. *Dorogi Rossii XXI veka* (Roads of Russia of the XXI century). 2003. no. 1. pp. 62–65.
6. Korolev Ye.V., Ochikina N.A., Bazhenov YU.M. i dr. *Reologicheskiye svoystva radiatsionno-zashchitnykh stroitelnykh rastvorov na osnove vysokoglynozemiznogo tsementa*. *Stroitelnyye materialy* (Building Materials). M.: Izd-vo Nauka, 2004. no. 3. pp. 8–11.
7. Solomatov V.I., Vyrovoy V.N. *Fizicheskiye osobennosti formirovaniya struktury kompozitsionnykh stroitelnykh materialov*. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura* (Proceedings of the universities. Construction and architecture). 1984. no. 8. pp. 59–64.
8. Solomatov V.I., Grdzeshvili N.D., Kazanskiy V.M. i dr. *Mikrostruktura i svoystva tsementnogo kamnya s tonkomolotymi poristymi napolnityami*. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura* (Proceedings of the universities. Construction and architecture). 1991. no. 2. pp. 35–41.
9. Trautvain A.I., Yadykina V.V. *Poluchenie reaktivnosposobnykh napolniteley iz tekhnogennoy syrya*: monografiya. Germaniya: Izd-vo LAP LAMBERT Academic Publishing (Germany: Publishing House of the LAP LAMBERT Academic Publishing). 2014. 217 p.
10. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. *Osobennosti mekhanooaktivirovannykh mineralnykh poroshkov. Stroitelnyye materialy* (Building materials). 2011. no. 11. pp. 32–34.
11. Shagina N.N. *Prognozirovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik betonov s uchotom donorno-akseptornykh svoystv poverkhnosti napolniteley i zapolniteley: avtoref. dis... dokt. tekhn. Nauk* (the thesis abstract on Dr. tehnechnicheskikh Sciences. – Publisher: Saint-Petersburg). 1998. 45 p.
12. Yadykina V.V. *Upravleniye protsessami formirovaniya i kachestvom stroitelnykh kompozitov s uchotom sostoyaniya poverkhnosti dispersnogo syrya: monografiya*. M.: Izd-vo ASV (a monograph. M.: Publishing House of the ASV), 2009. 374 p.
13. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. *Analiz regressivnykh zavisimostey vliyaniya prirody materialov i rezhimov ikh izmelcheniya na svoystva asfaltobetona*. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli* (Science and Technology in the road sector). 2014. no. pp. 26–29.
14. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Preparation of the silica-reactive filler material // Middle-East Journal of Scientific Research 18 (10): 1499–1504, 2013. ([http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18\(10\)13/19.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr18(10)13/19.pdf)).
15. Yadykina V., Gridchin A., Trautvain A. Concrete road with fillers, modified mechanical activation. 18 ibausil. Weimar (Deutsch.), 2012. pp. 2–0568 – 2–0577.
16. Yadykina, V.V., Trautvain A.I. Increased activity of mineral powder, resulting in various grinding mill // in Modern scientific research and their practical application, edited by Alexandr G. Shibaev, Alexandra D. Markova. Vol. J11307 (Kupriyenko SV, Odessa, 2013) – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J11307.pdf> (date: may 2013) – J11307–174.
17. Yadykina V.V., Trautvain A.I., Gridchin A.M. Mechanical activation of mineral powder for asphalt // «Time and Space – coordinate system of human development»: materials digest of the VIII-th International Scientific and Practical Conference, Odessa, London, August 25 – September 1, 2011. Odessa: In Press, 2011. pp. 42–44.

Рецензенты:

Череватова А.В., д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технология материалов», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород;
Котлярский Э.В., д.т.н., профессор, зам. зав. кафедрой «Дорожно-строительные материалы», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», г. Москва.

УДК 338.1

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МАРКЕТИНГОВОГО ПОДХОДА

¹Бутко Г.П., ²Матвеева Я.А., ²Машков К.А., ³Корсунов П.П.¹НОУ ВПО «Уральский финансово-юридический университет», Екатеринбург;²ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: n.v.mashkova@urfu.ru;³ФГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург

Рассмотрены вопросы оценки конкурентоспособности предприятия по основе маркетингового подхода. Названы основные факторы, обеспечивающие оптимистичный сценарий продвижения продукции (услуг) предприятия на рынке. Авторы считают, что эффективность маркетинговой деятельности – это системообразующий показатель, характеризующий экономическую отдачу от рационального формирования и использования механизма маркетинга в совокупности с материально-ресурсным потенциалом и реальными потенциальными возможностями организации. В работе предложена к рассмотрению математическая модель данного показателя. Необходимым условием успешного развития организации является анализ динамики конкурентоспособности. Использование предложенной модели позволяет рассчитать параметры конкурентоспособности организации в следующей последовательности: конкурентоспособность продукта, конкурентоспособность предприятия, конкурентоспособность отрасли. Таким образом, авторами сделан вывод о том, что оценка конкурентоспособности предприятия во многом зависит не только от конкурентных преимуществ товаров и услуг, которые лучше удовлетворяют потребности потребителей, чем товары конкурентов, но и от маркетинговых преимуществ, основанных на уникальности производимых товаров или предоставляемых услуг.

Ключевые слова: конкурентоспособность, маркетинговая деятельность, маркетинговое управление, показатели конкурентоспособности

MEASURE COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES BASED ON THE MARKET APPROACH

¹Butko G.P., ²Matveeva Y.A., ²Mashkov K.A., ³Korsunov P.P.¹Ural financial and Law University, Ekaterinburg;²UrFU name of the first President of Russia B.N. Eltsina, Ekaterinburg, e-mail: n.v.mashkova@urfu.ru;³Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

The questions assess the competitiveness of the company on the basis of the marketing approach. Identified the main factors that provide an optimistic scenario promotion of products (services) of the enterprise in the market. The author believes that the effectiveness of marketing activities – a system-index characterizing the economic returns from the rational use of the mechanism of formation and marketing in conjunction with the material resource potential and the real potential of the organization. The paper presents a mathematical model to consider this indicator. Prerequisite for the successful development of the organization analysis of the dynamics of competitiveness. Using the proposed model allows to calculate the parameters of competitiveness of the organization in the following order: the competitiveness of the product, the company's competitiveness, the competitiveness of the industry. Thus, the authors concluded that the assessment of the competitiveness of the enterprise depends not only on the competitive advantages of the products and services that best meet the needs of consumers than competitors' products, but also on the marketing advantages based on the uniqueness of the goods produced or services provided.

Keywords: competitiveness, marketing activities, marketing management, competitiveness indicators

Проблемы повышения конкурентоспособности товаров, деятельности национальных хозяйствующих субъектов и, как следствие, экономики страны в целом занимают важнейшее место среди экономических проблем современного мира. И это естественно, так как конкурентоспособность рассматривается на современном этапе как критерий прогресса в науке, технике, производстве и управлении в региональном и национальном масштабах.

В теории конкуренции на сегодняшний день сложилось несколько подходов к опре-

делению сущности конкуренции. Мы согласны с мнением [2], что под конкуренцией следует понимать процесс взаимодействия производителей и поставщиков, использующих свои конкурентные преимущества при реализации продукции, а также соперничество между отдельными производителями или поставщиками товара (услуги) за выбор покупателя. При этом следует отметить, что:

– рыночная конкуренция – это непосредственное взаимодействие организаций на рынке, то есть та борьба, которую ведут организации, продвигая свой товар или услугу;

– конкуренция ведется за ограниченный объем платежеспособного спроса, который заставляет организации конкурировать друг с другом;

– рыночная конкуренция ведется только на доступных сегментах рынка.

Наличие конкуренции на рынке товаров или услуг, на котором действует предприятие, требует от него обеспечения определенной конкурентоспособности или, в противном случае, грозит вытеснением его с данных рынков.

На наш взгляд, конкурентоспособность – более высокое по сравнению с товарами либо услугами-заменителями соотношение совокупности качественных характеристик товара (услуги) и затрат на его приобретение и потребление при их соответствии требованиям рынка или его определенного сегмента.

Кроме того, понятие «конкурентоспособность» имеет различные интерпретации в зависимости от объекта, к которому оно применяется. При систематическом изучении данного понятия выделяют структуру, последовательно включающую оценку уровня конкурентоспособности товара, услуги, организации, отрасли, экономики и, наконец, конкурентоспособность государства. Таким образом, диагностика и оценка уровня конкурентоспособности товара (услуги) является важнейшим индикатором, как для целей государственного регулирования рынков, так и для выработки конкретной стратегии отдельной организации на этих рынках.

Успех предприятия в значительной степени определяется спросом на его товар, услуги. Если товар, услуги пользуются спросом, считается, что они конкурентоспособны.

Есть несколько подходов к конкуренции: Первый – определяет конкуренцию как состязательность на рынке.

Второй – рассматривает конкуренцию как элемент рыночного механизма, который позволяет уравновесить спрос и предложение.

Третий подход – определяет конкуренцию как критерий соответствующего типа отраслевого рынка.

Анализ конкурентоспособности основывается на маркетинговых исследованиях, соблюдении нормативных показателей и информации внутреннего характера. Таким образом, необходимость непрерывного повышения конкурентоспособности промышленных предприятий в долгосрочной перспективе ставит вопрос о необходимости осуществления маркетингового управления для обеспечения максимальных результатов. Возможности маркетинга по-

зволяют гибко и на перспективу оценить деятельность предприятия и положение его на рынке, а также сформировать основу для создания и наращивания конкурентных преимуществ.

Будем считать, что эффективность маркетинговой деятельности – это системообразующий показатель, характеризующий экономическую отдачу от рационального формирования и использования механизма маркетинга в совокупности с материально-ресурсным потенциалом и реальными потенциальными возможностями организации. Оценка эффективности маркетинговой деятельности показывает социально-экономическую отдачу от использования инструментов маркетинга совместно с ресурсным потенциалом и возможностями предприятия [1]. Математически данный показатель может быть представлен как соотношение коммерческих результатов и затрат на маркетинговую деятельность.

Расчетная эффективность маркетинговой деятельности предприятия определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{марк}} = \frac{1}{3} \cdot \Pi_{\text{марк}} \cdot \left(\frac{D_{\text{в}} - 3_{\text{м}}}{3_{\text{в}}} \right), \quad (1)$$

где $\Pi_{\text{марк}}$ – маркетинговый потенциал; $D_{\text{в}}$ – доход; $3_{\text{м}}$ – затраты на маркетинг; $3_{\text{в}}$ – затраты.

Потенциал маркетинга рассчитывается, в свою очередь, по следующей формуле:

$$\Pi_{\text{марк}} = 0,295 \cdot (K_1 \cdot K_2 + K_2 \cdot K_3 + \dots + K_{10} \cdot K_1), \quad (2)$$

где K_i – технический потенциал: K_1 – доля рынка; K_2 – маркетинговой информационной системы; K_3 – степень сегментации рынка; K_4 – специализация предприятия; K_5 – ценовой политики; K_6 – каналов товародвижения предприятия; K_7 – личных продаж; K_8 – реклама; K_9 – бенчмаркинг; K_{10} – PR (общественное мнение).

Для определения потенциала маркетинга ($\Pi_{\text{марк}}$) необходима оценка его критериев (K_i). Оценка критериев проводится методами математической статистики по группе предприятий по индексной оценке 1–3, где:

1 – предприятие не применяет инструмент маркетинга, описанный критерием;

2 – предприятие не в полной мере применяет инструмент, описанный критерием;

3 – предприятие в полной мере применяет инструмент маркетинга.

Применение данной методики позволит предприятию повысить уровень своей конкурентоспособности и выработать необходимую стратегию для продвижения своих товаров (услуг) на рынке.

Для определения конкурентоспособности предпринимательской структуры имеет

значение получение количественной оценки данного показателя, что позволит управлять ее уровнем, а также, в целях анализа конкурентоспособности, выявить преимущества и недостатки в деятельности предпринимательских структур в условиях конкуренции, закрепить и усилить первые, ослабить и устранить последние. Выявление резервов повышения конкурентоспособности исследуемой предпринимательской структуры осуществляется из соображений того, что оценка производится по нескольким количественным показателям. Это делает возможным аналитическое разложение показателя конкурентоспособности, что позволит определить влияние каждой из аналитических единиц на формирование обобщающего показателя конкурентоспособности предпринимательской структуры [3].

Проблемы состояния конкуренции на рынках промышленных товаров рассматриваются с точки зрения конкурентоспособности различных товаров, выпускаемых промышленными предприятиями, и определяются степенью ее влияния на спрос этих товаров.

Методический учет нормативных параметров при оценке конкурентоспособности может быть обеспечен путем введения специального показателя, который принимает лишь два значения: 0 или 1. Если товар соответствует обязательным нормам и стандартам, то этот показатель равен 1, если нет – 0. Групповой показатель по всей массе нормативных параметров представляет собой произведение единичных показателей по каждому из них, т.е.:

$$I_{\text{норм}} = \prod_{i=1}^n q_{\text{норм}_i}, \quad (3)$$

где $I_{\text{норм}}$ – групповой показатель по нормативным параметрам; $q_{\text{норм}_i}$ – единичный показатель по i -му нормативному параметру; n – число нормативных параметров, подлежащих оценке.

Если хотя бы один из единичных параметров будет равен 0, групповой показатель также равен 0, что говорит о неконкурентоспособности товара на рассматриваемом рынке.

Если на рынке конкурирующих товаров все они соответствуют значению $I_{\text{норм}} = 1$ и между собой не различаются, выделить какой-либо товар из массы будет возможным только за счет имиджа предприятия-изготовителя. Потребитель может создать некоторую иерархию предпочтения товара по их изготовителям.

По величине технического параметра потребитель оценивает, насколько свойство изделия, представленное данным параметром, удовлетворяет соответствующему

элементу его потребности. Это можно выразить в количественной форме, как процентное отношение величины указанного параметра к величине того же параметра, при которой потребность удовлетворяется полностью. Полученный показатель может быть назван единичным параметрическим показателем:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i100}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где q_i – единичный параметрический показатель по i -му параметру; P_i – величина i -го параметра для анализируемого изделия; P_{i100} – величина i -го параметра, при котором потребность удовлетворяется полностью.

Для получения на базе единичных q_i группового показателя, характеризующего соответствие изделия данной потребности, необходимо их объединить с учетом значимости (веса) каждого единичного показателя в общем наборе:

$$I_{\text{тех}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (5)$$

где $I_{\text{тех}}$ – групповой параметрический показатель по n техническим параметрам; a_i – весомость i -го параметра в общем наборе из n технических параметров, характеризующих потребность; n – число параметров, участвующих в оценке.

Полученный групповой показатель $I_{\text{тех}}$ характеризует степень соответствия данного товара соответствующей потребности по всему набору технических параметров. Чем он выше, тем в целом полнее удовлетворяются запросы потребителя. В таком случае групповой показатель моделирует в количественной форме отбор товаров на рынке, в ходе которого покупатель стремится выбрать изделие с максимальным потребительским эффектом.

Приведенные групповые и единичные показатели, отражая степень удовлетворения потребности с помощью данного товара, еще не дают возможность выяснить уровень его конкурентоспособности. Для этого необходимо сопоставить показатели анализируемого товара и его конкурента и на базе такого сравнения определить, какой из них в большей степени соответствует конкретной потребности. В этом случае показатель конкурентоспособности товара 1 по отношению к изделию-конкуренту 2 определяется как

$$K_1 = \frac{I_{\text{тех}_1}}{I_{\text{тех}_2}}, \quad (6)$$

где K_1 – показатель конкурентоспособности товара 1 по отношению к товару 2; $I_{\text{тех}_1}$ –

групповой показатель для товара 1, отражающий степень его соответствия конкретной потребности; $I_{\text{тех}_2}$ – групповой показатель для товара 2 (конкурента), отражающий степень его соответствия все той же потребности.

На основе рассмотренных показателей определяется интегральный показатель конкурентоспособности анализируемого изделия:

$$K_{\text{интегр}} = \frac{I_{\text{норм}} + I_{\text{тех}_1} + I_{\text{экон}}}{3}, \quad (7)$$

где $K_{\text{интегр}}$ – интегральный показатель конкурентоспособности изделия.

Рассматривая показатель $K_{\text{интегр}}$, видим, что при полном совпадении технических характеристик нескольких изделий наиболее конкурентоспособен тот, у которого цена потребления C будет минимальной, т.е.

$$\frac{C_o}{C} = \max. \quad (8)$$

Для анализа динамики конкурентоспособности может использоваться индекс, представляющий отношение показателя конкурентоспособности изделия в данный момент времени t к аналогичному показателю базового периода $t_{\text{баз}}$, т.е.

$$i_k = \frac{K(t)}{K(t_{\text{баз}})}, \quad (9)$$

где i_k – индекс конкурентоспособности изделия; $K(t)$ – показатель конкурентоспособности в текущем периоде; $K(t_{\text{баз}})$ – показатель конкурентоспособности того же изделия в базовом периоде.

Удельный вес товара 1 в удовлетворении спроса обозначим как B , он будет равен

$$B = \frac{M_1}{M_2}. \quad (10)$$

На рисунке представлена доля товара, необходимая для удовлетворения рыночного спроса в зависимости от конкурентоспособности данного товара по отношению к аналогичному продукту (товар 2).

В общем виде зависимость доли товара в удовлетворении рыночного спроса от его конкурентоспособности и других факторов можно выразить как

$$B = (K, b, m, N), \quad (11)$$

где B – доля анализируемого товара в удовлетворении рыночного спроса; K – конкурентоспособность рассматриваемого товара; b – показатель сравнительной престижности фирм-конкурентов, поставляющих товар на рынок; m – показатель, характеризующий соотношение «предложение – спрос» на рынке; N – число изделий конкурентов (товар 2).

В современной литературе различают конкурентоспособность товаров, компаний, отраслей промышленности, стран и т.д. Все эти понятия тесно связаны и дополняют друг друга.

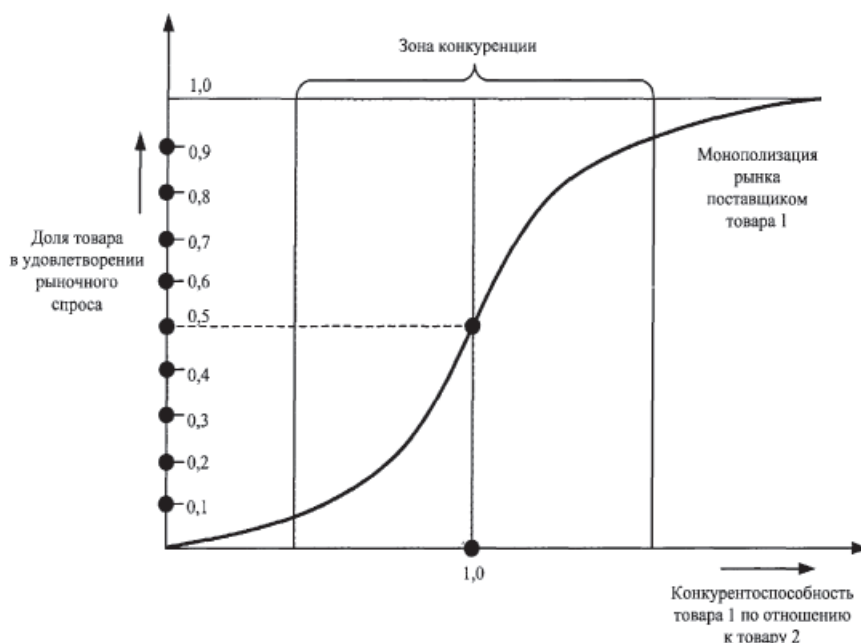


Схема зависимости спроса от конкурентоспособности товара

Использование предложенной модели позволяет рассчитать параметры конкурентоспособности организации в следующей последовательности:

- конкурентоспособность продукта;
- конкурентоспособность предприятия;
- конкурентоспособность отрасли.

Рыночные реформы поставили промышленные предприятия России в новые условия. Все большее значение для отечественной промышленности приобретают такие понятия, как платежеспособный спрос, избыточные запасы готовой продукции, усиливающаяся конкуренция, управление конкурентоспособностью, конкурентные преимущества.

Оценка конкурентоспособности предприятия во многом зависит не только от конкурентных преимуществ товаров и услуг, которые лучше удовлетворяют потребности потребителей, чем товары конкурентов, но и от маркетинговых преимуществ, основанных на уникальности производимых товаров или предоставляемых услуг. Это положение хорошо согласуется с характеристиками М. Портера [5], что маркетинговое и технологическое лидерство – неразрывная часть целостного механизма по продвижению товара и повышению его конкурентоспособности.

В сложившейся ситуации необходим поиск и апробация новых путей повышения конкурентоспособности предприятий, учитывающих отраслевые и региональные особенности развития.

По нашему мнению, необходимо использовать позитивный опыт зарубежных стран в повышении конкурентоспособности экономики, в частности «кластерную теорию экономического развития» [6]. Кластеры могут стать эффективным инструментом для преодоления негативных факторов, сдерживающих социально-экономическое развитие промышленности в России. Более того, именно конкурентоспособные кластеры могут стать одним из важнейших элементов новой каркасной структуры экономики регионов России.

Список литературы

1. Бутко Г.П. Конкуренция: теория, методология, практика. – Екатеринбург: УрФЮИ, 2013. – 347 с.
2. Мазилкина Е.И. Управление конкурентоспособностью: учеб. пособие / Е.И. Мазилкина, Г.Г. Паничкина. – М.: Omega-Л, 2007. – 325 с.
3. Матвеева Т.В., Машкова Н.В., Вятчина В.Г. Концепция интегральной оценки конкурентоспособности системы дополнительного профессионального образования и методика ее формирования // Вестник Воронеж. гос.ун-та. Сер.: Экономика и управление. – 2014. – № 2. – С. 96–100.
4. Пилипенко Н.Н., Татарский Е.Л. Основы менеджмента: структурно-логические схемы. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 2002. – 56 с.
5. Портер М. Международная конкуренция: пер. с англ. – М.: Международные отношения, 2014. – 896 с.
6. Agenda 21. Adopted by the UN conference on environment and development, Rio de Janeiro, June 3–4, 1992 // Access mode: www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/ free. – 15.01.2014.

References

1. Butko G.P. Konkurencija: teorija, metodologija, praktika. Ekaterinburg: UrFJuI, 2013. 347 p.
2. Mazilkina E.I. Upravlenie konkurentosposobnostju: ucheb. posobie / E.I. Mazilkina, G.G. Panichkina. M.: Omega-L, 2007. 325 p.
3. Matveeva T.V., Mashkova N.V., Vjatchina V.G. Konceptija integralnoj ocenki konkurentosposobnosti sistemy dopolnitelnogo professionalnogo obrazovanija i metodika ee formirovanija // Vestnik Voronezh. gos.un-ta. Ser.: Jekonomika i upravlenie. 2014. no. 2. pp. 96–100.
4. Pilipenko N.N., Tatarskij E.L. Osnovy menedzhmenta: strukturno-logicheskie shemy. M.: IVC «Marketing», 2002. 56 p.
5. Porter M. Mezhdunarodnaja konkurencija: per. s angl. M.: Mezhdunarodnye otnoshenija, 2014. 896 p.
6. Agenda 21. Adopted by the UN conference on environment and development, Rio de Janeiro, June 3–4, 1992 // Access mode: www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/ free. 15.01.2014.

Рецензенты:

Семин А.Н., д.э.н., профессор, директор института мировой экономики, заведующий кафедрой стратегического и производственного менеджмента, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург;

Матвеева Т.В., д.э.н., директор Центра бизнес-образования Бизнес-школы УрФУ, зав. кафедрой предпринимательства и инноваций, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

УДК 330.542

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Гешева М.В., Нагоев А.Б.

ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: A.Nagoev@yandex.ru

Исходной составляющей для разработки инвестиционной политики является тип инвестиционного климата региона. Однако это обобщенная характеристика территории, которая не дает конкретных рекомендаций инвесторам о направлениях инвестирования, а только показывает степень превосходства одного региона над другим по режиму благоприятствования инвестиционным вложениям. В то же время если инвесторы решили направить свои инвестиции в конкретный регион, то перед ними встает задача выбора объектов инвестиционных вложений внутри региона. Во многом эти решения будут основываться на их представлении об инвестиционной привлекательности данных объектов. На современном этапе в регионе отсутствует стратегическая программа развития машиностроительного комплекса, а соответственно, нет и разработанной инвестиционной программы. В рамках же действующей программы социально-экономического развития региона в части машиностроительного комплекса предусмотрены лишь отдельные мероприятия по нескольким крупным предприятиям, никак не связанные друг с другом.

Ключевые слова: промышленность, регион, инвестиционная привлекательность, машиностроение

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF INVESTMENT APPEAL OF THE MACHINE-BUILDING COMPLEX OF THE REGION

Gesheva M.V., Nagoev A.B.

FGBOU VPO «Kabardino-Balkarian state university to them H.M. Berbekova»,
Nalchik, e-mail: A.Nagoev@yandex.ru

Initial component for development of investment policy is the type of investment climate of the region. However it is the generalized characteristic of the territory which doesn't make concrete recommendations to investors about the directions of investment but only shows degree of superiority of one region over another on favored treatment to investment investments. At the same time, if investors decided to direct the investments into the concrete region, before them there is a problem of a choice of objects of investment investments in the region. In many respects these decisions will be based on their idea of investment appeal of these objects. At the present stage in the region there is no strategic program of development of a machine-building complex, and respectively there is also no the developed investment program. Within the existing program of social economic development of the region regarding a machine-building complex only separate actions for the large several enterprises which in any way aren't connected with each other are provided.

Keywords: industry, region, investment appeal, mechanical engineering

Развитие машиностроения и металлообработки имеет первостепенное значение для развития национальной экономики. В области машиностроения и металлообработки наиболее ярко выражена необходимость достижения основных целей и задач развития: повышение конкурентоспособности продукции, расширение производства продукции с повышенной добавленной стоимостью, снижение ресурсоемкости производства, улучшение инвестиционной привлекательности промышленных предприятий и расширение рынков сбыта.

Промышленность на территории Кабардино-Балкарской Республики представлена практически всеми основными отраслями, поэтому процесс принятия эффективных инвестиционных решений еще больше усложняется как для руководства республики, так и для сторонних инвесторов.

Поэтому инвестиционную привлекательность машиностроительного комплекса региона можно определить лишь на фоне других отраслей. Вследствие этого разработанный нами подход к выбору приоритетных направлений капитальных вложений и принимаемые решения о финансировании инвестиций в ту или иную отрасль основываются на комплексной оценке инвестиционной привлекательности всех отраслей промышленности.

Процедура оценки основывается на анализе экономических и статистических показателей, доступных любому пользователю, а не на субъективном восприятии экспертов о значимости той или иной отрасли. Это особенно ценно в тех случаях, когда принимаются решения о выборе инвестиционных проектов, финансируемых за счет бюджетных средств, так как зачастую наибольшее внимание уделяется отраслям, которые

на протяжении многих лет формировали имидж региона. Однако современная экономика должна базироваться на совершенно иных принципах [4].

Применяемая методика построения рейтинга инвестиционной привлекательности отдельных промышленных комплексов включает следующие этапы (рисунок).

Наименьшим уровнем инвестиционной привлекательности на протяжении двух лет обладают легкая и деревообрабатывающая промышленность. В настоящий момент эти отраслевые комплексы не способны самостоятельно привлекать необходимые для их развития инвестиционные ресурсы. Также достаточно низкой инвестиционной при-



Схема построения рейтинга инвестиционной привлекательности отраслей промышленности.
Источник: составлено автором

Оценка инвестиционной привлекательности отраслевых комплексов региона проведена по итогам 2014 года. Отметим, что экономические индикаторы положения отраслей, на основе которых производится расчет интегрального показателя инвестиционной привлекательности комплекса, являются общепринятыми и присутствуют во всех исследованиях по данному вопросу. Состав показателей может изменяться в зависимости от изменения рыночной ситуации.

Таким образом, на основе полученного комплексного интегрального показателя инвестиционной привлекательности возможно проранжировать отрасли по степени их инвестиционной привлекательности для инвесторов [2].

Соответственно, чем выше ступень занимает отрасль в рейтинге, тем больше ее инвестиционная привлекательность и способность самостоятельного привлечения инвестиций. Составим рейтинг инвестиционной привлекательности промышленных комплексов на территории Кабардино-Балкарской Республики в 2014 году и сравним его с рейтингом 2013 года (табл. 1).

влекательностью для внешних инвесторов обладает химическая промышленность.

Таблица 1
Рейтинг
инвестиционной привлекательности
промышленных комплексов

Наименование промышленного комплекса	Место в рейтинге	
	2013 г.	2014 г.
Промышленность строительных материалов	1	1
Пищевая промышленность	3	2
Машиностроение и металлообработка	2	3
Топливная промышленность	6	4
Электроэнергетика	4	5
Химическая и нефтехимическая промышленность	5	6
Легкая промышленность	7	7
Деревообрабатывающая промышленность	8	8

Наилучшие тенденции к увеличению инвестиционной привлекательности наблюдаются в промышленности строительных материалов. В связи с тем, что на протяжении нескольких лет хозяйственная деятельность всех предприятий машиностроительного комплекса была неэффективной, рейтинг его инвестиционной привлекательности снизился и по отношению к другим промышленным комплексам. На сегодня занимает третье место. Пищевая промышленность занимает второе место по уровню инвестиционной привлекательности, в то же время значение интегрального показателя очень близко к показателю в машиностроение. Каждый из этих комплексов имеет свои преимущества перед другим, так машиностроительный комплекс более стабилен в своем развитии, что обеспечивает надежность инвестиционных вложений, однако инвестиции в пищевую промышленность окупаются гораздо быстрее. Наивысшее место в рейтинге занимает топливная промышленность, но этот комплекс – естественная монополия и для отдельных инвесторов интереса не представляет, поэтому в большинстве случаев инвестиции в топливную промышленность – это капиталовложения вышестоящих организаций.

Кроме того, с помощью оценки инвестиционной привлекательности возможно обоснованно подойти к выбору приоритетных направлений региональной инвестиционной политики.

В этом случае в используемую методику добавляется шестой этап. Для того чтобы можно было использовать результаты анализа для формирования региональной инвестиционной политики, необходимо наложение двух параметров: с одной стороны, оценить отрасли по их способности самостоятельно привлекать инвестиции, а с дру-

гой стороны, полезность отрасли для региона [1]. Сделать это возможно при помощи матричного анализа.

Для того чтобы определить положение отрасли на матрице, нужно на ее интервалы наложить числовые значения применяемых показателей. Обе оси разбиты на три интервала, поэтому и диапазон данных по показателям отраслей также необходимо разбить на три интервала.

Разбивка данных на интервальные ряды может осуществляться различными способами известными в статистике, но так как для нас предельная точность не имеет решающего значения, то мы используем один из известных методов, однако внесем в полученные результаты некоторые корректировки (для наглядности положения отраслей на матрице) [3].

Ячейки с номерами 2, 3, 6 данной матрицы отображают положение тех отраслей, которые обладают высоким или средним уровнем инвестиционной привлекательности и налоговой отдачи. Т.е. данные отрасли могут самостоятельно привлекать необходимые инвестиции и в то же время органам исполнительной власти целесообразно с помощью различных инструментов региональной инвестиционной политики способствовать созданию условий для их независимого развития.

В промышленном комплексе региона только пищевая промышленность попала в данный квадрант. Необходимо отметить, что способствовать развитию таких отраслей должны не финансовые льготы и преференции, а всевозможные организационные и правовые составляющие. В отраслях, входящих в эту группу (пищевая промышленность), органы власти могут выступать в качестве гаранта надежности инвестиционных вложений перед внешними инвесторами.

Таблица 2

Показатели, определяющие положение отраслей промышленности относительно осей матрицы

№ п/п	Показатели	Электроэнергетика	Промышленность строительных материалов	Машиностроение и металлообработка	Деревообрабатывающая	Топливная промышленность	Легкая промышленность	Пищевая промышленность
1.	Комплексный показатель инвестиционной привлекательности отрасли, интегральный	2,4	1,4	3,7	0,1	2,9	0,6	4,1
2.	Налоговая отдача, %	8,4	10,2	7,3	8,9	9,2	19,1	27,7

Наиболее интересно положение легкой промышленности (ячейка 4), данная отрасль обладает достаточно хорошим уровнем налоговой отдачи, однако мало привлекательна для внешних инвесторов. Связано это с тем, что в последние годы в отрасли закрылись почти все значимые предприятия или же они находятся в упадке. Но, учитывая перспективы, связанные с ее развитием для региона, органы исполнительной власти первоначально должны сами обеспечить возрождение отрасли, что повлечет за собой повышение ее инвестиционной привлекательности для внешних инвесторов.

Машиностроительный комплекс обладает самой низкой налоговой отдачей среди всех отраслей промышленности КБР и в то же время высоким уровнем инвестиционной привлекательности. Кроме того, в машиностроительном комплексе региона занята наибольшая часть трудового населения по сравнению с другими отраслями промышленного комплекса области.

Поэтому вполне естественно, что машиностроительному комплексу должно уделяться особое внимание при формировании региональной инвестиционной политики. Так как невелика налоговая отдача в отрасли и высока капиталоемкость производства, то использование бюджетных инвестиций в качестве приоритетного фактора роста мало целесообразно.

области обязательно должно обозначить свой интерес, тем самым подстегнув инвесторов к капитальным вложениям [5].

Что же касается современного состояния инвестиционной политики в машиностроительном комплексе, то, к сожалению, в регионе отсутствует стратегическая программа развития данного комплекса, а соответственно, нет и отдельной инвестиционной программы. В рамках же действующей программы социально-экономического развития региона в части машиностроительного комплекса предусмотрены лишь отдельные мероприятия. Из чего можно сделать вывод, что на сегодня в регионе в отношении машиностроительного комплекса отсутствует целенаправленно проводимая инвестиционная политика.

При реализации каких-либо инвестиционных проектов в данном комплексе областные органы власти руководствуются общими принципами, сложившимися в рамках проводимой региональной инвестиционной политики. Единство принципов по отношению ко всем объектам, на которые направлена реализуемая в регионе инвестиционная политика – это, конечно же, положительный момент. Однако в то же время они не объединены в какую-либо систему, которая могла бы послужить базой для разработки инвестиционной политики в отношении отдельных промышленных комплексов.

	Низкая	Средняя	Высокая		
Высокая	1 кв.	2 кв.	3 кв. Пищевая промышленность	Высокая	Налоговая отдача в процентах
Средняя	4 кв. Легкая промышленность	5 кв.	6 кв.	Средняя	
Низкая	7 кв. Деревообрабатывающая промышленность	8 кв. Электроэнергетика	9 кв. Машиностроительный комплекс	Низкая	
	Низкая	Средняя	Высокая		
	Инвестиционная привлекательность отраслей промышленного комплекса региона				

Рис. 2. Инвестиционной привлекательности отраслей промышленного комплекса

Однако стимулировать развитие данной отрасли нужно за счет законодательных инициатив, благоприятствующих потоку внешних инвестиций. Кроме того, если перед отраслью открываются перспективы привлечения иностранных инвестиций или заключения долгосрочных контрактов со стратегическими инвесторами, руководство

Механизм формирования и реализации инвестиционной политики на территории Кабардино-Балкарской Республики сформировался в 1995–2005 годы и включает в себя все основные обеспечивающие подсистемы: организационную, правовую, финансовую и информационную. Но их существование во многом

не обеспечивает эффективность реализуемой инвестиционной политики. Причина этого кроется в механизме принятия управленческих решений, которые во многом основываются на суждениях и интуиции отдельной группы руководителей при практически полном отсутствии использования известных научных методов оценки того или иного решения.

Проведенный анализ инвестиционной ситуации в Кабардино-Балкарской Республике позволил выявить ряд основных тенденций:

- в последние годы рост инвестиционной активности на территории региона в основном был связан с развитием непродовольственной сферы (жилищного и коммунального хозяйства);

- основным источником финансирования инвестиций являются средства из внебюджетных источников. При этом более одной трети всех инвестиций в основной капитал – это доля собственных средств предприятий;

- доля иностранных инвестиций непостоянна и незначительна, что во многом объясняется отсутствием стратегических инвесторов. На сегодня для увеличения притока иностранных инвестиций в экономику региона необходимо формирование инвестиционно-привлекательного имиджа и улучшение состояния инвестиционного климата в республике.

Таким образом, в исследуемом периоде стабильного увеличения объема инвестиций в экономику региона не наблюдалось. Этот процесс носил нестабильный и скачкообразный характер, что не соответствует общероссийским тенденциям в этой сфере.

Выявлены основные факторы, сдерживающие развитие машиностроительного комплекса в Кабардино-Балкарской Республике: высокий уровень износа основных фондов при низком уровне инвестиционной активности; применение ресурсоемких технологий, наряду с устаревшими способами организации производства; отсутствие стратегической программы развития машиностроительного комплекса региона; низкий уровень производительности труда при длительном производственном цикле; недозагруженность производственных мощностей, в связи с отсутствием постоянного спроса на выпускаемую продукцию; высокая капиталоемкость производства; усиление конкуренции со стороны иностранных производителей машиностроительной продукции.

Машиностроительный комплекс обладает самой низкой налоговой отдачей среди всех отраслей промышленности региона и в то же время высоким уровнем инвестиционной привлекательности по отношению

к другим отраслевым комплексам. В рейтинге инвестиционной привлекательности машиностроительный комплекс устойчиво сохраняет второе-третье место и уступает лишь промышленности строительных материалов и иногда пищевой промышленности. В машиностроительном комплексе региона занята наибольшая часть трудового населения по сравнению с другими отраслями промышленного комплекса региона. В связи с этим при формировании региональной инвестиционной политики машиностроительный комплекс заслуживает особого внимания.

Список литературы

1. Кумышева М.М., Абаноква Э.Б., Нагоев А.Б. Кластерная политика как механизм реализации эффективного управления промышленными предприятиями // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–8. – С. 1703–1707.
2. Нагоев А.Б. Организационно-экономические аспекты прогнозирования промышленности региона // Вестник института Дружбы народов Кавказа. «Теория экономики и управления народным хозяйством». – 2013. – № 1(25). – С. 36–38
3. Татуев А.А., Стефанчук Е.Н., Хоконов М.М. Новый этап промышленного развития // Экономика промышленности. – 2014. – № 1.
4. Татуев А.А., Еделев Д.А., Кереев М.А. Приоритеты промышленного развития национальной экономики // Вестник института Дружбы народов Кавказа «Теория экономики и управления народным хозяйством». – 2013. – № 4(28). – С. 46–55.
5. Шульгина Л.В., Чернышов В.В. Значение инновационной деятельности в промышленной политике // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2012. – № 07. – С. 27–30.

References

1. Kумыsheva M.M., Abanokova Je.B., Nagoev A.B. Klasternaja politika kak mehanizm realizacii jeffektivnogo upravlenija promyshlennymi predpriyatijami // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 12–8. pp. 1703–1707.
2. Nagoev A.B. Organizacionno-jekonomicheskie aspekty prognozirovanija promyshlennosti regiona // Vestnik instituta Druzby narodov Kavkaza. «Teorija jekonomiki i upravlenija narodnym hozjajstvom». 2013. no. 1(25). pp. 36–38
3. Tatiev A.A., Stefanchuk E.N., Hokonov M.M. Novyj jetap promyshlennogo razvitija // Jekonomika promyshlennosti. 2014. no. 1.
4. Tatiev A.A., Edelev D.A., Kerefov M.A. Prioritety promyshlennogo razvitija nacionalnoj jekonomiki // Vestnik instituta Druzby narodov Kavkaza «Teorija jekonomiki i upravlenija narodnym hozjajstvom». 2013. no. 4(28). pp. 46–55.
5. Shulgina L.V., Chernyshev V.V. Znamenije innovacionnoj dejatel'nosti v romyshlennoj politike // FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. 2012. no. 07. pp. 27–30.

Рецензенты:

Татуев А., д.э.н., профессор кафедры конституционного и административного права, ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик;

Щидов А.Х., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой бухгалтерского учета, анализа и аудита, ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», г. Нальчик.

УДК 51.77

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

^{1,2}Зайцева И.В., ^{2,3}Попова М.В., ³Казначеева О.Х., ^{3,4}Тихонов Э.Е.

¹ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, e-mail: ziki@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь;

³ГАОУ ВПО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», Невинномысск;

⁴НОУ ВПО «Невинномысский институт экономики, управления и права», Невинномысск

Рассмотрен системный подход как инструмент исследования, определения целостности объекта и обеспечивающих его механизмов, выявления многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единое целое. Системный подход используется для изучения экономических явлений, так как его можно рассматривать как анализ существующих систем, создание, конструирование, синтез систем для достижения каких-то целей. В работе описана методология системного подхода, определенная на трех основных принципах. По своей структуре и характеру функционирования трудовой потенциал является сложной системой, поэтому для его всестороннего изучения выявления всех его составляющих, внутренних и внешних факторов может быть использован системный подход. Представлено структурирование трудового потенциала в единстве пространственных и временных характеристик. Определены основные факторы и компоненты процесса труда, и, как следствие, трудовой потенциал представляется взаимосвязанными подсистемами, характеризующими различные признаки и категории.

Ключевые слова: трудовой потенциал, регион, системный подход

SYSTEM APPROACH AS A THEORETICAL BASIS OF RESEARCH STRUCTURE OF LABOUR POTENTIAL

^{1,2}Zaytseva I.V., ^{2,3}Popova M.V., ³Kaznacheeva O.K., ^{3,4}Tikhonov E.E.

¹North-Caucasian Federal University, Stavropol, e-mail: ziki@mail.ru;

²Stavropol State Agrarian University, Stavropol;

³Nevinnomyssk State Humanitarian Institute, Nevinnomyssk;

⁴Nevinnomyssky Institute of Economics, Management and Law, Nevinnomyssk

Considered a systematic approach as tool of research, determination integrity of the object and providing its mechanisms, detect diverse connections types of a complex object and reduction them in single unit. A systematic approach is using for studying of economic phenomena, because it can be considered as an analysis of existing systems, creation, designing, synthesis of systems for achieve of some goals. In article describes the methodology of the systematic approach, considered on three basic principles. By the structure and nature of the functioning the labor potential is a complex system, that's why for its comprehensive studying, detection of all its components, internal and external factors can be used a systematic approach. Here presented structuring of the labor potential in the unity of the spatial and time characteristics. Identified the main factors and components of the labor process and, as a consequence, labor potential presented by interrelated subsystems, characterized different attributes and categories.

Keywords: labor potential, the region, systems approach

Системный подход методически направляет исследование на выявление целостности объекта и обеспечивающих его механизмов, на определение всевозможных типов связей сложного объекта и сведение всего в единое целое. Чтобы определить целостность объекта и выявить многообразие типов связей, необходимо рассмотреть свойства объекта, определить его структуру и выявить динамику. «Системный подход – направление методологии научного знания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем с использованием системного анализа, воплощающего диалектический способ изучения,

исследования естественных и общественных процессов» [5].

Авторы [11] отмечают, что «системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды». Если рассматривать систему S как целенаправленное множество взаимосвязанных элементов произвольной природы, а внешнюю среду E как множество существующих вне этой системы элементов произвольной природы, которые оказывают влияние на систему или находятся под ее воздействием, то можно получить различные соотношения в зависимости от цели

исследования. Следовательно, получатся различные взаимодействия данной системы с внешней средой.

Методология системного подхода выражается в трех основных принципах: физичности, моделируемости и целенаправленности [7].

Принцип физичности выражается в наличии во всякой системе физических законов, определяющих ее внутренние связи, их причинно-следственные компоненты, существование и функционирование. Система может быть представлена конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенный аспект ее сущности: в этом заключается принцип моделируемости. Сложная система в целом состоит из ряда упрощенных моделей, взаимодействие которых обеспечивает ее отражение. Целенаправленность выражается в том, что сложная система характеризуется функциональной тенденцией, направленной на достижение определенного состояния или на усиление (сохранение) некоторого процесса.

Системный подход можно использовать для изучения экономических явлений, так как его можно рассматривать как анализ существующих систем, а также их создание, структурирование, синтез для достижения определенных целей. Системный подход в экономике направлен на изучение некоторых экономических объектов, заключается в структурировании отдельных частей более сложных систем, определение роли каждой из них в функционировании экономической системы, а также, влияние всей системы на отдельные элементы.

Следует согласиться с авторами [5], которые предлагают рассматривать трудовой потенциал уже в первом приближении как некоторую систему. Под системой будем понимать «множество составляющих единство элементов, их связей и взаимодействий между собой и между ними и внешней средой, образующих присущую данной системе целостность, качественную определенность и целенаправленность» [6].

Из данного определения следует, что «трудовой потенциал характеризует способность системы производить работу, т.е. превращать потенциальную энергию в энергию движения (кинетическую)» [5].

Определение структуры системы является наиболее важным для системного подхода. Под структурой системы будем понимать «совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие» [11]. Структура системы может быть изучена с внешней стороны с точки зрения состава отдельных подсистем и от-

ношений между ними, например рабочая сила, трудовые ресурсы и труд. Структура системы изнутри представляет собой анализ отдельных свойств, что позволяет системе достигать определенной цели, в данном случае, количественных и качественных характеристик трудового потенциала. На основании этого следует выделить ряд подходов к изучению структуры системы с ее свойствами, из которых выделяются прежде всего структурный и функциональный [7].

Структурный подход определяет состав выделенных элементов системы S и связи между ними. Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы, которая в зависимости от цели изучения может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Функциональный подход отличается тем, что основными компонентами являются функциональное описание, т.е. рассматриваются отдельные функции, а именно алгоритмы поведения системы, и оценивающая функция, выполняемая системой (под функцией следует понимать свойство, ведущее к достижению цели). Поскольку функция отображает свойство, а свойство отображает взаимодействие системы S с внешней средой E , то свойства могут быть выражены в виде либо некоторых характеристик элементов $S_{i(j)}$ и подсистем S_j системы, либо системы S в целом.

Фактором труда, который выступает в качестве причины системы образования в рамках системного подхода, является производство как вид деятельности для трансформации, изменения природы вещества для удовлетворения потребностей. Таким образом, участие элементов в системе в связи с необходимостью производства, что может быть сделано через работу.

Системообразующим компонентом процесса труда, которым является причина образования системы, в рамках системного подхода является производство как вид деятельности по преобразованию, изменению вещества природы для удовлетворения потребностей [5]. Вовлечение компонентов в систему обусловлено необходимостью производства, которое может быть совершено посредством трудовой деятельности. В качестве доказательства авторы [5] приводят слова К. Маркса: «Машина, которая не служит в процессе труда, бесполезна. ...Живой труд должен охватить эти вещи, воскресить их из мертвых, превратить их из только возможных в действительные и действующие потребительные стоимости, т.е. их контакт с живым трудом служит единственным средством для того,

чтобы сохранить и использовать эти продукты прошлого труда как потребительные стоимости»¹.

Обобщая вышесказанное, авторы [5] замечают, что трудовой потенциал «характеризует всю систему как единое целое». По своей структуре и характеру функционирования трудовой потенциал является сложной системой, т.к. представляет собой «иерархически организованную и целенаправленно функционирующую совокупность большого числа информационно связанных и взаимодействующих элементов» [9].

Трудовой потенциал как сложная система характеризуется способностью системы к реализации некоторого множества функций, т.е. многофункциональность [1]. В качестве основных функций, которые характеризуют многофункциональность процесса труда, авторы [5] выделяют такие, как производство материальных и духовных благ; обеспечение безопасности жизнедеятельности человека и общества, сохранение природы, обеспечение здоровой социальной среды; формирование и накопление общественного материального и нематериального богатства, развитие факторов производства, науки, техники, культуры; развитие самого человека, личности, формирование творческой личности и свободного общества, воссоздания человека. Из многофункциональности вытекают свойства, которые характеризуют трудовой потенциал как обобщённую характеристику системы, обладающую гибкостью, адаптивностью, устойчивостью [2].

Эффективность использования трудового потенциала непосредственно связана с экономическим ростом и социальной политикой. В условиях формирования рыночной экономики изменения в сферах приложения труда отразились и на эффективности трудового потенциала общества. Критерии оценки производительности труда как отношения стоимости произведённой продукции к количеству занятых на этом производстве в настоящее время оказываются недостаточными, так как не раскрывают ряд динамических процессов в этой сфере, и, соответственно, усложнилось и само измерение, учитывающее результативность этого потенциала [4].

Структурирование трудового потенциала должно быть произведено в единстве пространственных и временных характеристик, выделив три уровня связей и взаимных отношений: первый уровень, от-

ражающий прошлое, т.е. представляющий собой совокупность свойств, накопленных системой в процессе ее становления и обуславливающих ее возможность функционирования и развития; второй уровень, характеризующий настоящее с точки зрения практического применения и использования имеющихся способностей; третий уровень, ориентированный на развитие в процессе трудовой деятельности, где работник не только реализует свои способности, но и приобретает новые навыки [12].

В [13] трудовой потенциал региона является «порождением интеграции трех подсистем: воспроизводственной, территориальной и отраслевой, – обеспечивающих в единстве целостность системы характеристик трудового потенциала, их способность проявляться в конкретных условиях». Воспроизводственная система рассматривается как непрерывный процесс формирования и использования рабочей силы в отраслевую и территориальную подсистемы. В свою очередь территориальная подсистема непосредственно воздействует на становление и использование трудового потенциала, при этом взаимодействуя с воспроизводственной подсистемой. Отраслевая подсистема оказывает воздействие на трудовой потенциал региона в силу своей территориальной принадлежности. В свою очередь, на трудовой потенциал региона как подсистему региона воздействуют различные подсистемы: демографическая, социальная, экономическая, экологическая.

На развитие региона, а значит и на развитие трудового потенциала региона воздействуют объективные и субъективные факторы. Объективность выражается в историческом развитии региона, уровне развития производительных сил, территориальных особенностях. Субъективность определяется населением региона, его культурным и образовательным уровнем, уровнем власти.

В [3] указывается, что трудовой потенциал представляет собой взаимосвязанные подсистемы (демографическую, социально-экономическую и социально-психологическую) многоуровневой динамической системы. Элементы такой системы дополняют и раскрывают внутренние возможности человека.

Структуру трудового потенциала региона можно представить по различным признакам и категориям, например по социально-экономическому развитию, по демографическим факторам, по профессиональным характеристикам и т.д.

Система компонентов трудового потенциала, согласно концепции Института

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Избранные сочинения. В 9-ти т. Т.7. – М.: Политиздат, 1987. – С. 175.

социально-экономических проблем народонаселения РАН, представлена в виде многоуровневой системы [10].

Качества первого уровня: физическое и психическое здоровье; образовательно-квалификационный потенциал; творческие способности; коммуникабельность; культурный уровень; нравственность. Качества второго уровня; психофизиологический (физическое и психическое здоровье), интеллектуальный (уровень общих и профессиональных знаний, творческие способности), коммуникативный (коммуникабельность, культурный уровень) потенциалы; социальная активность (нравственность и социальные притязания). Качества третьего уровня: энергетический потенциал, или функциональные возможности работника (психофизиологический и интеллектуальный потенциалы); социальный потенциал, или способность человека воздействовать на условия своей деятельности (коммуникативный потенциал и социальная активность). Четвертый уровень – социальная дееспособность как интегральный показатель качества трудового потенциала (энергетический и социальный потенциалы человека). С помощью набора качеств трудового потенциала индивид оценивается как субъект общественных отношений, осуществляющий свои функции в рамках социально-экономической структуры, трудового коллектива, экономического района. В связи с этим возрастает необходимость точного учета и изучения качества трудового потенциала населения [3].

Предлагаемый автором [13] масштабный подход к изучению трудового потенциала позволяет выявить весь комплекс условий функционирования трудового потенциала; изучить все факторы, способствующие его развитию; установить структурообразующие подсистемы.

Особенностью российской экономики на современном этапе является переход на инновационный путь развития, что невозможно без увеличения эффективности использования трудового потенциала. Оценка трудового потенциала с целью управления как социально-экономического объекта исследований, от которого зависит региональное развитие современной экономики является на сегодняшний день важной задачей, имеющей научное теоретическое и практическое значение.

Для целей управления трудовой потенциал в [8] рассматривает и подробно описывает как систему, состоящую из шести подсистем: демографической,

социальной, экономической, психологической, пространственной и институциональной.

Таким образом, рассмотрение трудового потенциала с точки зрения системного подхода позволяет комплексно подойти к проблемам его воспроизводства и развития. Основным элементом процесса труда как системы, источником её существования и функционирования является человек в качестве рабочей силы. Так как человек, используя свои способности к труду, создает производственный процесс с целью получения потребительских стоимостей. Трудовой потенциал региона является сложной многоуровневой динамической системой, состоящей из большого количества подсистем, основные элементы которой дополняют и раскрывают внутренние возможности человека, необходимые для трудовой деятельности в рамках социально-экономической системы. Для того чтобы оценить трудовой потенциал, необходимо его всесторонне изучить, выявить все его составляющие, внутренние и внешние факторы.

Список литературы

1. Аммосов И.Н. Трудовой потенциал Якутии: состояние и оценка. – Новосибирск: Наука, 2010. – 160 с.
2. Гизатуллин Х.Н. Системный анализ эффективности трудового потенциала региона // Экономика региона. – 2005. – № 1. – С. 114–136.
3. Крощенко, М.М. Теоретико-методологические основы исследования трудового потенциала [Электронный ресурс]: / М.М. Крощенко, М.А. Шестаков. – Электрон. дан. – Вестник НИИ труда и социального страхования. – 2009. – № 1. – Режим доступа: URL: http://www.niitruda.ru/about/vestnik/_1_2.html.
4. Малин А.С. Исследование систем управления / А.С. Малин, В.И. Мухин; Гос. ун-т – Высшая школа экономики. – 3-е изд. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2005. – 400 с.
5. Моделирование систем: учебник для студентов высш. учеб. заведений / С.И. Дворецкий, Ю.Л. Муромцев, В.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 320 с.
6. Мост С.А. Управление трудовым потенциалом региона с учетом демографических ограничений на рынке труда: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. – Самара, 2010. – 158 с.
7. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М.: Советское радио, 1976. – 344с.
8. Римащевская Н.М. О методологии определения качественного состояния населения // Демография и социология. ИСЭПН РАН, 1993. – Вып. 6. – С. 7–21.
9. Советов Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 296 с.
10. Экономика труда: учебник / под ред. Ю.П. Кокина, П.Э. Шлендера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Магистр, 2010. – 686 с.
11. Яхварова Е.В. Трудовой потенциал региона: формирование, развитие и использование. – Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2004. – 100 с.

12. Zaitseva I.V. Optimal control of labour potencial of the region / I.V. Zaitseva, E.A. Semenchin, Y.V. Vorokhobina, Popova M.V. // Life Science Journal. – 2014. – T. 11. – № 11. – P. 674–678.

13. Zaitseva, I.V. Effect of the state of the labor market on the characteristics of the employment potential of the region / I.V. Zaitseva, M.V. Popova // Science and Education Materials of the III International research and practice conference. – 2013. – P. 338–341.

References

1. Ammosov I.N. Trudovoj potencial Jakutii: sostojanie i ocenka. Novosibirsk: Nauka, 2010. 160 p.

2. Gizatullin H.N. Sistemnyj analiz jeffektivnosti trudovogo potenciala regiona // Jekonomika regiona. 2005. no. 1. pp. 114–136.

3. Kroshhenko, M.M. Teoretiko-metodologicheskie osnovy issledovaniya trudovogo potenciala [Elektronnyj resurs] / M.M. Kroshhenko, M.A. Shestakov. Jelektron. dan. Vestnik NII truda i socialnogo strahovaniya. 2009. no. 1. Rezhim dostupa: URL: http://www.niitruda.ru/about/vestnik/_1_2.html.

4. Malin A.S. Issledovanie sistem upravleniya / A.S. Malin, V.I. Muhin; Gos. un-t Vysshaja shkola jekonomiki. 3-e izd. M.: Izd. dom GU VShJe, 2005. 400 p.

5. Modelirovanie sistem: uchebnik dlja studentov vyssh. ucheb. zavedenij / S.I. Dvoreckij, Ju.L. Muromcev, V.A. Pogonin, A.G. Shirladze. M.: Izdatelskij centr «Akademija», 2009. 320 p.

6. Most S.A. Upravlenie trudovym potencialom regiona s ucheto demograficheskikh ogranichenij na rynke truda: dis. ... kand. jekon. nauk: 08.00.05. Samara, 2010. 158 p.

7. Raskin L.G. Analiz slozhnyh sistem i jelementy teorii optimalnogo upravleniya. M.: Sovetskoe radio, 1976. 344 p.

8. Rimashevskaja N.M. O metodologii opredelenija kachestvennogo sostojanija naselenija // Demografija i sociologija. ISJePN RAN, 1993. Vyp. 6. pp. 7–21.

9. Sovetov B.Ja. Modelirovanie sistem: ucheb. dlja vuzov / B.Ja. Sovetov, S.A. Jakovlev. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vysshaja shkola, 2005. 296 p.

10. Jekonomika truda: uchebnik / pod red. Ju.P. Kokina, P.Je. Shlendera. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Magistr, 2010. 686 p.

11. Jahvarova E.V. Trudovoj potencial regiona: formirovanie, razvitie i ispolzovanie. Saratov: Sarat. gos. teh.un-t, 2004. 100 p.

12. Zaitseva I.V. Optimal control of labour potencial of the region / I.V. Zaitseva, E.A. Semenchin, Y.V. Vorokhobina, Popova M.V. // Life Science Journal. 2014. T. 11. no. 11. pp. 674–678.

13. Zaitseva, I.V. Effect of the state of the labor market on the characteristics of the employment potential of the region / I.V. Zaitseva, M.V. Popova // Science and Education Materials of the III International research and practice conference. 2013. pp. 338–341.

Рецензенты:

Гурнович Т.Г., д.э.н., профессор кафедры финансового менеджмента и банковского дела, Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь;

Торопцев Е.Л., д.э.н., профессор, зав. кафедрой математического анализа, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.

УДК 332.142.4

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ И ДОСТУПНОСТИ ЖИЛЬЯ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ

Коростин С.А.

*ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет»,
Волгоград, e-mail: s.a.korostin@yandex.ru*

Произведен анализ региональных рынков недвижимости, выявивший основные тенденции развития жилищного строительства в регионах на фоне сохраняющегося низкого среднероссийского показателя доступности жилья и незначительного повышения обеспеченности жильем на душу населения, высокой доли ветхого и аварийного жилого фонда в регионах. Установлена взаимосвязь развития регионального рынка жилой недвижимости с характером, динамикой и показателями социально-экономического развития региона. В составе регионов России выявлены лидеры и аутсайдеры по уровню обеспеченности жильем населения, спроса и предложения на рынке жилой недвижимости, стоимости жилья, развитию жилищного строительства, наличию свободных площадей под застройку, объемам вводимого нового жилья. На основе анализа механизма ценообразования определены основные факторы, влияющие на стоимость жилья, главными среди которых являются доходы населения в экономически более развитых регионах и себестоимость строительства в экономически менее развитых регионах, усиливающие их дифференциацию по уровню обеспеченности и качеству жилья. С учетом скорректированной динамики макроэкономических показателей сделан вывод об отсутствии фундаментальных причин для сохранения высоких темпов роста ипотечного рынка и угрозе снижения объемов возводимого жилья в регионах без реализации стимулирующих мер региональной жилищной политики и поддержки жилищного сектора экономики региона органами региональной и местной власти.

Ключевые слова: региональный рынок жилья, жилой фонд, жилищное строительство, региональная экономика, доступность жилья, обеспеченность жильем населения, жилищная проблема, региональная жилищная политика

ANALYSIS OF INDICATORS FOR REGIONAL MARKET DEVELOPMENT IN RESIDENTIAL REAL ESTATE AND HOUSING AFFORDABILITY IN REGIONS OF RUSSIA

Korostin S.A.

Volgograd State University, Volgograd, e-mail: s.a.korostin@yandex.ru

The analysis of regional real estate markets revealed main trends in the development of housing construction in the regions on the background of persistently low average national indicator of housing affordability and a slight increase of housing provision per capita, a high proportion of old and dilapidated housing stock in the regions. The article states interrelation between development of regional real estate market and character, dynamics and indicators of socio-economic development of the region. In structure of Russian regions the article identifies leaders and outsiders in terms of housing provision, demand and supply in residential real estate market, cost of housing, housing construction development, availability of construction sites to be developed, volume of new housing. Based on the analysis of the pricing mechanism the author of the article identified the main factors affecting the cost of housing. The key factors are income of the population in more economically developed regions and cost of construction in less economically developed regions; these factors are reinforcing their differentiation in terms of availability and quality of housing. Taking into account corrected dynamics of macroeconomic indicators it could be concluded that there are no fundamental reasons for maintaining high rate of growth in the mortgage market and a threat of decrease in volumes of housing being built in the regions without implementation of stimulus measures in regional housing policy and support of housing sector of regional economy by regional and local authorities.

Keywords: regional housing market, housing stock, housing construction, regional economy, housing affordability, housing provision per capita, housing problem, regional housing policy

Действенность мер региональной жилищной политики последних лет, спроецированная на ситуацию угрозы обострения экономического кризиса, выразилась в том, что по итогам 2014 года во многих регионах достигнут рекордный уровень предложения вновь вводимого и строящегося жилья. Но устойчивость роста в жилищном строительстве оказалась под угрозой экономического кризиса, вызванного политикой

санкций западных стран и снижением цен на нефть, обрушившими курс рубля и обусловившими на долгий период высокую волатильность российской национальной валюты, что поменяло приоритеты на рынке жилой недвижимости. Замедление экономического роста, наблюдаемое в третьем и четвертом квартале 2014 г., до 0,2% и нулевого значения соответственно с сохранением этой тенденции на первую половину

текущего года, сопровождающееся ростом цен на продукты и товары первой необходимости в сочетании со снижением реальных доходов населения, ставят девелоперов и покупателей жилья в затруднительное положение. Так как все больше жилья приобретается по ипотеке, становится очевидной необходимость стабилизирующих мер жилищной политики, способных поддержать жилищное строительство и региональные рынки жилья, поскольку устойчивый рост данного сектора в предшествующем периоде существенно стимулировал развитие экономики регионов и в состоянии демпфировать замедление ее роста [6].

По данным Агентства по ипотечному жилищному кредитованию в России в 2014 году было выдано более 1 млн ипотечных кредитов на общую сумму в 1,76 трлн рублей. Это в 1,23 раза превышает уровень 2013 года в количественном и в 1,3 раза – в денежном выражении [7], в 2013 году количество выданных ипотечных кредитов и их общая сумма выросли по сравнению с 2012 годом в 1,17 раза и в 1,29 соответственно [5]. Это наглядно демонстрирует спрос на жилье даже в условиях кризиса, т.к. оно для россиян является наиболее значимым имуществом, составляющим основу благополучия, способом хранения сбережений и инвестирования.

Начиная с 2010 г. роль ипотеки в финансировании жилищного строительства и развития региональных рынков жилья неуклонно возрастает, поскольку по данным Росреестра все большее количество сделок с жильем совершаются по механизму ипотеки, при помощи которой регистрируется каждое четвертое право собственности в сделках с жильем. В новостройках доля сделок с ипотекой по некоторым объектам превышает 50 и даже 70 процентов объема продаж. Принимая во внимание снижение месячных темпов роста выдачи ипотечных кредитов в 2014 году с 52% в январе до 13% в ноябре, для учета степени влияния ажиотажного спроса к концу года на общую тенденцию развития региональных рынков жилой недвижимости необходимо рассмотреть предшествующий период и выявить основные закономерности их развития и экстраполировать ее на нынешнее состояние жилищного строительства.

Состояние региональных жилищных рынков в 2013 году, на наш взгляд, достаточно адекватно демонстрируют возможности его дальнейшего развития после преодоления экономического кризиса, начавшегося в конце 2014 года, поскольку в его первой половине наблюдалось снижение спроса, обусловленное недостаточностью стимулирующих мер со стороны жилищной политики. Предшествующий спаду рост ипотечного рынка

в 2013 году был обусловлен наблюдающейся со второго квартала тенденцией снижения ипотечных ставок, достигших своего максимального значения – 12,9% в марте 2013 года, после чего их стало понижать большее количество участников ипотечного рынка благодаря снижению стоимости фондирования и улучшению ситуации с ликвидностью по сравнению с 2012 годом. Другой значимой тенденцией, повлиявшей на снижение ставок по ипотечным кредитам, следует считать рост ипотечного портфеля на балансах банков, который на 01.10.2013 года составил 2398,8 млрд рублей, что превышает аналогичный показатель 2012 года почти на 32% [3].

В 2013 году самая высокая процентная ставка по рублевым ипотечным кредитам, равная 13,2%, была зафиксирована в республике Хакасия, а самая низкая, составившая 11,6%, в Курганской области при среднероссийском показателе, находящемся в диапазоне 12,4–12,8%, характерном для 56 регионов России, в состав которых вошли Москва, Санкт-Петербург, Ленинградская и Московская области. В этих условиях рост количества выданных кредитов и объемов кредитования зафиксирован в 80 российских регионах по сравнению с всего лишь тремя регионами (Республика Ингушетия, Ненецкий автономный округ и Амурская область), где наблюдалось некоторое снижение. За 2013 год в Москве, Московской, Тюменской и Челябинской областях, а также Республике Татарстан было выдано самое большое количество ипотечных кредитов, что в совокупности составило 21,8% от всех ипотечных кредитов, выданных в Российской Федерации. Лидерство этих регионов по ипотечному кредитованию характеризуется как устойчивое, поскольку в 2012 году данный показатель составил 22,3% [5].

Наряду с количеством выданных кредитов важное значение имеет объем ипотечного кредитования, рост которого также неравномерен для различных регионов, где лидеры демонстрируют примерно 30-процентное превышение над среднероссийским показателем роста. В Санкт-Петербурге он составил 25%, в Москве – 28%, Московской области – 32%, Ростовской области – 40%, Астраханской области – 54%, Калининградской области – 57%. Увеличение количества выданных ипотечных кредитов и объемов кредитования и обусловили рост цен на жилье в номинальном и реальном выражении, который начался в 2012 г. и продолжился в 2013 г., но не носил спекулятивного характера вследствие роста предложения вновь вводимого жилья на первичном рынке. По своей сути этот рост был корректировкой цен с поправкой на инфляцию, поскольку практически ей и соответствовал, что можно расценивать как позитивный фактор, т.к.

это не ухудшение показателя доступности жилья в регионах.

Несмотря на рост жилищного строительства и стимулирование ипотечного кредитования, перспективы региональных рынков жилья в период 2010–2014 гг. находились под влиянием общего тренда развития экономики России, хотя и со свойственной для исследуемого сектора инерцией. Если в 2010 г. рост валового внутреннего продукта (ВВП) в России составил 4,5%, а в 2011 г. остался практически таким же – 4,3% при снижении инфляции с 8,8% до 6,6%, опустившись на рекордно низкий уровень со времён распада СССР, то в 2012 г. рост экономики замедляется до 3,3% с сохранением инфляции на уровне 6,6%. На протяжении 2013 г. в России происходит дальнейшее снижение роста экономики из-за структурных проблем и снижения инвестиционной активности, когда ВВП увеличился лишь на 1,3% при уровне инфляции 6,5%, мало изменившейся с 2011 г. [2]. Это и сформировало существенные факторы замедления роста строительного сектора в предкризисный 2013 г., когда объем выполненных строительных работ в сопоставимых ценах снизился на 1,1% по отношению к 2012 г., а темпы роста количества договоров долевого участия граждан остались на минимальных уровнях 2009 г.

Увеличение объемов жилищного строительства в условиях замедления экономического роста в 2012–2013 гг. также имело свои особенности, поскольку обеспечивалось во многом за счет индустриального жилищного строительства, рост в котором составил 6,6% против 17,3%, характеризующих индустриальное жилищное строительство. В 2013 г. наблюдалось сохранение предшествующих тенденций развития региональных рынков жилой недвижимости по схемам финансирования и структуре ввода жилья. По этим критериям по сравнению с предыдущими годами существенных изменений не произошло, поскольку в объемных показателях стабильно доминировало индивидуальное жилищное строительство (до 49% от всего введенного объема), осуществляемое за счет собственных и заемных средств населения, а в количественных показателях преобладало долевое строительство жилья (до 45,2% всех построенных квартир), финансируемое населением регионов при бюджетном финансировании порядка 2,5–4,0% [1].

При сравнении региональных рынков жилой недвижимости видно, что больше всего жилья введено в Центральном федеральном округе (ЦФО) и Приволжском федеральном округе (ПФО) – по 13% от всего возводимого в стране жилья. При этом в ЦФО основная часть вводимого жилья приходится на Московскую область, жилищное строительство которой так успешно

развивается за счет его выноса во внешнюю зону столичной агломерации, где достаточно много свободных площадей под застройку, что снижает цены и повышает доступность жилья. В ПФО высокие показатели жилищного строительства достигаются отчасти из-за продолжения действия программ поддержки строительства в Республике Татарстан. Вслед за ЦФО и ПФО лидерские позиции удерживает Южный федеральный округ (ЮФО) во главе с Краснодарским краем, его 6% возводимого жилья осуществляется благодаря инвестициям в олимпийские стройки, увеличению доходов населения и платежеспособного спроса в регионе.

Анализ региональных рынков жилья будет неполным без сравнения его стоимости по регионам, среди которых бесспорные лидеры столичные города – Москва и Санкт-Петербург с низкой безработицей и высокими доходами населения в сравнении с другими регионами. Эти факторы обуславливают и оборотную сторону их опережающего экономического развития – проблема доступности жилья, т.к. в Москве и Санкт-Петербурге показатели обеспеченности населения жильем находятся на самом низком уровне – 18,6 кв. м на человека, что на 2,5 кв. м меньше, чем в среднем по России, хотя во многом это объясняется высокой плотностью населения и дефицитом свободных земель для массовой застройки в черте города. В Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО), напротив, цены на жилье одни из самых низких, что обусловлено высокой безработицей, низкими доходами населения, самой высокой по России обеспеченностью жилыми помещениями, предпочтением индивидуального домостроения [4].

Общие тенденции развития российского рынка жилой недвижимости и региональные особенности ценообразования в 2013 г. определили в регионах ситуацию и уровень цен на первичном и вторичном рынках жилья. На первичном рынке жилья цены росли в Москве (111,34%), Санкт-Петербурге (106,96%), Кировской (115,61%), Московской (101,97%) и Омской (112,48%) областях, Алтайском крае (112,22%) и еще 68 регионах, из всех 74-х показавших рост регионов в 33-х он был выше инфляции. На фоне этого снижение цен наблюдалось лишь в 6 регионах, наибольшее – в Сахалинской области (98,51%), Республике Карелия (98,06%), Камчатском крае (97,06%). На вторичном рынке жилья цены росли в Москве (101,37%), Санкт-Петербурге (102,13%), Магаданской (127,78%) и Московской областях (102,04%), Карачаево-Черкесской Республике (118,01%) и Республике Коми (117,71%) – итого в 78 регионах, в т.ч. в 41 из них выше инфляции. Падение цен происходило лишь в Вологодской

(99,75%) и Тверской (97,14%) областях, Ненецком автономном округе (99,29%), Республике Алтай (98,78%) [5]. Приводя исследуемые тенденции к усредненному значению, можно сделать вывод, что рост цен на жилье соответствовал уровню инфляции и не повлиял на ухудшение показателя доступности жилья в большинстве регионов, сохранявших в период 2010–2013 гг. на первичном и вторичном рынках стабильные значения индекса доступности жилья.

Подводя итог исследованию рынков жилой недвижимости и доступности жилья в регионах, необходимо отметить, что за 2010–2014 гг. достигнуто существенное улучшение их состояния и определены направления дальнейшего развития. Несмотря на некоторое снижение значений показателей состояния региональных рынков жилья в середине исследуемого периода, в 2013 г. посредством реализации мер жилищной политики на уровне регионов в большинстве из них наблюдался стабильный и плавный рост по всем основным показателям, что произошло благодаря комплексному подходу, стимулирующему спрос и предложение одновременно по нескольким взаимосвязанным направлениям: активизация жилищного строительства, снижение ставок по ипотечным кредитам, совершенствование механизма долевого и кооперативного строительства, реализация программ реконструкции ветхого жилого фонда и расселения аварийного жилья, развитие институтов градостроительного регулирования, модернизация концепции пространственного устройства пригородных территорий с выбором малоэтажного домостроения в качестве одного из главных приоритетов развития жилищной сферы региона.

Реализуемые меры поддержки жилищного строительства и регулирования региональных рынков жилья дают основание полагать, что воздействие текущего экономического кризиса на жилищный сектор будет намного ниже прогнозируемых в начале кризиса и он достаточно быстро восстановится в среднесрочной перспективе, предлагая жителям региона современное и комфортабельное жилье по доступным ценам, которое реально улучшит условия жизни. Но для этого в условиях ощутимого снижения темпов роста ипотечного рынка и угрозы сокращения объемов возводимого жилья в регионах необходимо сохранить масштаб реализации мер региональной жилищной политики и уровень поддержки развития жилищного сектора со стороны органов региональной и местной власти.

Список литературы

1. Арсаханова З.А., Шамилев С.Р. Анализ жилищных условий в регионах РФ – важное условие благосостояния населения // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: www.science-education.ru/119-14286 (дата обращения: 09.04.2015).
2. Википедия. Экономика России: История с 2010 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 08.04.2015).
3. Гордин И.А., Учинина Т.В., Валов В.А. Анализ тенденций развития рынка ипотечного жилищного кредитования в России // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-15320 (дата обращения: 07.04.2015).
4. Коростин С.А. Особенности и тенденции развития регионального рынка малоэтажного домостроения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2013. – № 1 (22). – С. 96–97.
5. Коростин С.А. Реализация региональной жилищной политики развития малоэтажного домостроения: проблемы, решения, перспективы. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. – 275 с.
6. Коростин С.А. Современные подходы к разработке и реализации государственной политики в сфере решения жилищной проблемы российских регионов / И.А. Гришин, С.А. Коростин // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2012. – № 2(21). – С. 85–91.
7. Новые известия. Экономика: Ипотека установила очередной рекорд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.newizv.ru/economics/2015-03-04/215907-ipoteka-ustanovila-ocherednoj-rekord.html> (дата обращения: 07.04.2015).

References

1. Arsakhanova Z.A., Shamilev S.R. Analiz zhilischnyh usloviy v regionah RF – vazhnoe uslovie blagosostoyaniya naseleniya, Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2014, no. 5, Available at: www.science-education.ru/119-14286 (accessed 9 April 2015).
2. Vikipediya. Ekonomika Rossii: Istoriya s 2010 goda, Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (accessed 8 April 2015).
3. Gordin I.A., Uchinina T.V., Valov V.A. Analiz tendenciy razvitiya rynka ipotechnogo zhilischnogo kreditovaniya v Rossii, Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2014, no. 6, Available at: www.science-education.ru/120-15320 (accessed 7 April 2015).
4. Korostin S.A. Osobennosti i tendencii razvitiya regionalnogo rynka maloetazhnogo domostroeniya, Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta, Vol. 3: Ekonomika. Ekologiya, 2013, no. 1(22), pp. 96–97.
5. Korostin S.A. Realizaciya regionalnoy zhilishchnoy politiki razvitiya maloetazhnogo domostroeniya: problemy, resheniya, perspektivy [Implementation of regional housing policy in the development of low-rise housing: problems, solutions, prospects]. Volgograd, Izd-vo VolGU, 2014, 275 p.
6. Grishin I.A., Korostin S.A. Sovremennye podhody k razrabotke i realizacii gosudarstvennoy politiki v sfere resheniya zhilishchnoy problemy rossiyskikh regionov, Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta, Vol. 3: Ekonomika. Ekologiya, 2012, no. 2(21), pp. 85–91.
7. Novye izvestiya. Ekonomika: Ipoteka ustanovila ocherednoy record, Available at: <http://www.newizv.ru/economics/2015-03-04/215907-ipoteka-ustanovila-ocherednoj-rekord.html> (accessed 7 April 2015).

Рецензенты:

Орехова Е.А., д.э.н., доцент, заведующая кафедрой экономической теории, МБОУ ВПО «Волжский институт экономики, педагогики и права», г. Волжский;

Фролов Д.П., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой маркетинга, ФГАОУ «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград.

УДК 330.36.012.4

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

¹Нечаев С.Ю., ²Шелудякова И.Г.

¹ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»,
Москва, e-mail: nechaevsy@list.ru;

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: irashel@mail.ru

Актуальность работы. Очередной экономический кризис, рост цен, нестабильность финансовых рынков, снижение качества человеческого капитала заставляют говорить о факторах, лежащих в основе экономического роста и развития. Одним из компонентов экономической среды, ориентированной на поддержание конкурентоспособности, является институциональная среда, изучение качественных характеристик которой позволяет выявить определенные проблемы и понять возможности и ограничения развития экономической системы. Цель работы – исследовать качественные характеристики институциональной среды и выявить предпосылки формирования плохих институтов. Методы исследования: качественный и количественный анализ проблемы; генетический метод, направленный на выявление механизма формирования плохих институтов; системный подход, способствующий изучению институциональной среды в единстве с эндогенными и экзогенными факторами, обуславливающими ее развитие. Результаты: определены уровни конкурентоспособности, обосновано влияние институциональных факторов на повышение конкурентоспособности экономики, выделены критерии отделения плохих институтов от хороших, выявлены условия формирования плохих институтов.

Ключевые слова: конкурентоспособность, институциональная структура, институциональная среда, качество институтов, транзакционные издержки, права собственности, верховенство закона, экономическое развитие

COMPETITIVENESS: INSTITUTIONAL ASPECTS

¹Nechaev S.Y., ²Sheludyakova I.G.

¹Plekhanov Russian University of Economics, Department of World Economy,
Moscow, e-mail: nechaevsy@list.ru;

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: irashel@mail.ru

Relevance of the research. The latest economic crisis, rising prices, volatility in financial markets, reducing the quality of human capital force us to speak of the factors being the base of economic growth and development. One of the components of the economic environment, focused on maintaining competitiveness, is the institutional environment. The investigation of its qualitative characteristics allows identifying certain problems and understanding the capabilities and limitations of the economic system. The main aim of the research is to investigate the qualitative characteristics of the institutional environment and to identify the prerequisites for forming bad institutions. Methods: qualitative and quantitative analysis of the problem; genetic method aimed at revealing the mechanism of formation of bad institutions; systematic approach that promotes the study of the institutional environment in unity with endogenous and exogenous factors contributing to its development. Results. The authors have determined the levels of competitiveness, grounded the influence of institutional factors on the economy competitiveness increase, defined the criteria separating the bad institutions from the good ones and the conditions of bad institutions formation.

Keywords: competitiveness, institutional framework, institutional environment, quality of institutions, transaction costs, property rights, rule of law, economic development

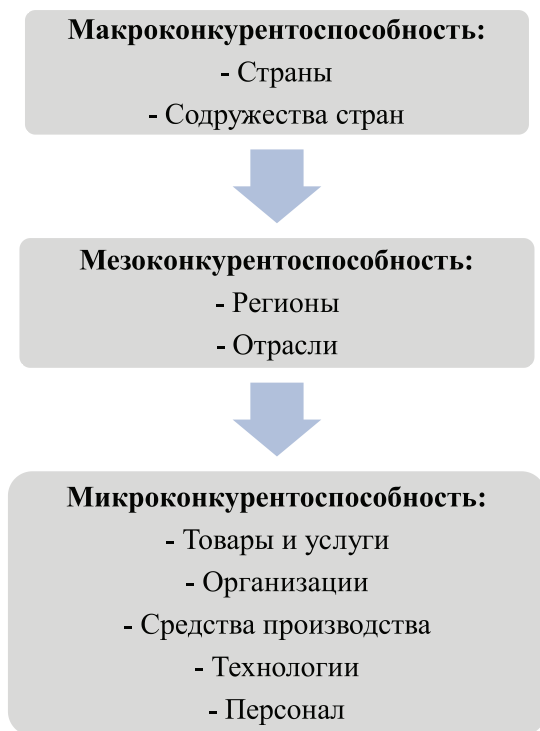
Одним из главных показателей, определяющим место любой страны в мировом сообществе, является конкурентоспособность. В широком смысле конкурентоспособность – это совокупность экономических и социально-политических характеристик систем: стран, регионов, организаций и фирм, их объединений, товаров и услуг, обеспечивающих устойчивое и динамичное развитие и равновесие в обществе и мировой экономике. Конкурентоспособность находит свое отражение в качестве продукции и эффективности процессов, ресурсоемкости товаров на всех стадиях их жизненного цикла, имидже и ценности брендов, де-

ловых качествах предпринимателей, этике торговых и сервисных организаций, правовой надежности, организованности, профессионализме и оперативности государственных органов управления. В условиях ужесточения мировой конкуренции, глобализации рынков и усиления транснациональных компаний необходимо учитывать все возможные детерминанты, влияющие на способность фирмы продавать свои товары и услуги, чтобы удовлетворять нужды общества и государства.

Для анализа конкурентоспособности целесообразно использовать комплексный подход, который позволит учитывать не

только экономические, но и экологические, социальные, институциональные, инфраструктурные и прочие аспекты, создающие определенные условия для производства и обмена, распределения и потребления товаров и услуг.

Конкуренция возникает на разных уровнях экономической системы, она может быть связана с территориальными образованияами, субъектами и объектами рынка (рисунок).



Уровни конкурентоспособности

Конкурентоспособность социально-экономической системы определяет конкурентоспособность регионов, отраслей и организаций, т.е. более высокий уровень конкурентоспособности определяет более низкий уровень.

Факторами или стратегическими условиями обеспечения конкурентоспособности социально-экономических и территориальных образований являются надежность и эффективность связей с внешней средой, качество институтов, инфраструктуры и человеческого капитала, инвестиционный и инновационный климат, экология и др. Конечными показателями конкурентоспособности являются: эффективность воспроизводственных стратегий во всех сферах и отраслях; суверенитет; комплексная безопасность; качество жизни населения данной территории.

Огромную роль в обеспечении конкурентоспособности экономической системы в целом и ее субъектов в частности играет сложившаяся институциональная структура и качество институциональной среды. Становление институциональной структуры происходит под воздействием ряда факторов: географических условий, исторических событий, действующих политических режимов и экономических законов, – и представляет собой упорядоченный набор взаимосвязанных институтов, охватывающих, три уровня правил (политические, экономические и локальные) и три сферы межчеловеческого взаимодействия (экономику, политику и идеологию). Выстроенные определенным образом экономические отношения являются базой общественного воспроизводства; формулирование коллективных интересов общества и разработка способов их достижения осуществляется в политической сфере; в области идеологии, при условии, что ее разделяет большая часть общества, происходит внедрение и легитимация политических и экономических решений.

Институциональная среда, т.е. совокупность наиболее значимых, базовых экономических, политических и социальных институтов, оказывает существенное влияние на процесс принятия решений и способы взаимодействия субъектов внутри экономической системы. С одной стороны, институциональная среда ограничивает набор доступных альтернатив выбора, а с другой стороны, внутри созданных ограничений обеспечивается свобода и безопасность определенной совокупности действий и предсказуемость их результатов. Кроме того, созданные институты позволяют участникам взаимодействия снижать транзакционные издержки и способствуют выполнению взятых на себя обязательств [4].

Хотя влияние институтов на эффективность экономики является косвенным, многие экономисты считают, что качество институциональной среды является ключевым условием экономического развития. Важными свойствами качественной институциональной среды являются оптимальность институциональной структуры и устойчивость ее во времени и пространстве, а также ее эффективность, т.е. высокая функциональная отдача сформированных институтов по отношению к затратам, идущим на их создание и поддержку. Таким образом, можно выделить следующие критерии определения качества институциональной среды: уровень деловой активности и степень накопления, уровень доверия в обществе и уровень транзакционных издержек, эффективность производства

и распределения и степень воздействия на благосостояние общества.

Существует огромное количество показателей, используемых для измерения качества институтов, однако нет их общепринятой системы и единой методологии для оценки ее воздействия на экономику [10]. Из-за взаимосвязанности институтов трудно оценить влияние каждого отдельного института на экономические результаты. Поэтому чаще всего используемая методология предполагает измерение качества институциональной среды на базе различных институциональных характеристик. На основе анализа эмпирических данных экономисты предлагают

следующие характеристики, которые имеют влияние на экономический рост или уровень дохода: размеры государства, состояние правовой системы, защита контрактов, бюрократическая культура, распространенность коррупции, защита прав собственности. Поскольку многие из указанных институтов являются результатом политических процессов, надо понимать, что они тесно связаны с результатами политики.

Измерение качества институциональной среды связано с большими издержками, поэтому в мире существует немного организаций, которые занимаются оценкой качества институтов (табл. 1).

Таблица 1

Информация об организациях, осуществляющих измерение качества институтов

Название организации	Информационная база	Индекс	Область исследования
1	2	3	4
Институт Фрэзера (Fraser Institute) ¹	1. Опросы домохозяйств 2. Статистика государственных финансов 3. Международная финансовая статистика Всемирного банка и Международного валютного фонда	Fraser Economic Freedom of the World (EFW) с 1986 г.	Анализ показателей мирового развития 123 стран в 5 сферах: – размер государства; – правовая система и права собственности; – доступ к финансированию; – свобода торговли; – регулирование кредита, трудовых отношений и бизнеса
«Фонд наследия», созданный Heritage Foundation и журналом «Уолл-стрит Джорнал» (Wall Street Journal) ²	Анализ и экспертные оценки данных интервью и выступлений, напечатанных в средствах массовой информации	Индекс экономической свободы (Index of Economic Freedom) с 1995 г.	Сравнительное состояние экономической свободы в 186 странах на основе 10 индикаторов по четырем направлениям: – верховенство закона (права собственности, свобода от коррупции); – государственные ограничения (налоговая свобода, государственные расходы); – эффективность регулирования (свобода бизнеса, свобода труда, монетарная свобода); – открытость рынков (свобода торговли, свобода инвестиций, финансовая свобода)
НКО «Дом свободы» (Freedom House) ³	Экспертная оценка аналитиков, писателей и научных руководителей информации из различных источников	Индекс Свободы или Индекс Гастинга (Freedom House index)	Анализ показателей мирового развития по двум направлениям: – политические права (избирательный процесс, политический плюрализм, функционирование правительства); – гражданские свободы (свобода слова и убеждений, свобода ассоциаций и право на объединение; верховенство закона и права человека; экономические права, в т.ч. укрепление прав собственности и признание равенства возможностей; свобода от зависимости от работодателей, профсоюзных лидеров, чиновников и т.п.)

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Всемирный банк (World Bank) ⁴	1. Опросы фирм и домохозяйств 2. Субъективные оценки ряда информаторов из бизнеса, НГО, некоторых многосторонних организаций и других организаций общественного сектора	Worldwide Governance Indicators (WGI) с 1996 г.	Мониторинг качества показателей государственного управления по 6 параметрам: – голоса и подотчетность; – политическая стабильность и отсутствие насилия; – эффективность работы правительства; – качество регулирования; – верховенство права; – борьба с коррупцией
Всемирный экономический форум (Economic Forum (WEF)) ⁵	1. Экспертные опросы руководителей бизнеса 2. Данные государственной статистики	Ежегодные специальные доклады (Global competitiveness reports – GCR) с 2005 г.	Анализ конкурентоспособности стран по 12 направлениям. В качестве одного из них рассматривается состояние институтов (21 параметр для сравнения)
«Проект глобальной справедливости» (World Justice Project (WJP)) ⁶	1. Опросы рядовых граждан (General Population Poll) 2. Опросы экспертов (Qualified Respondent's Questionnaires)	Индекс верховенства закона (Rule of Law Index)	Исследования верховенства закона включают 48 индикаторов по 8 главным направлениям: – ограничение государственных полномочий; – отсутствие коррупции; – порядок и безопасность; – основные права; – открытое правительство; – правоприменение нормативных актов; – гражданское правосудие; – уголовное правосудие
Альянс прав собственности (Property Rights Alliance) ⁷	Синтез показателей, получаемых в рамках других проектов (GCR, WGI, Transparency International)	Международный индекс прав собственности (International Property Rights Index)	Анализ состояния имущественных прав по всему миру по 3 параметрам: – правовая и политическая среда; – права собственности; – права интеллектуальной собственности

Примечания: ¹<http://www.fraserinstitute.org>; ²<http://www.heritage.org/index>; ³<http://www.freedomhouse.org>; ⁴<http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>; ⁵<http://www.weforum.org/issues/globalcompetitiveness>; ⁶<http://worldjusticeproject.org>; ⁷<http://www.propertyrightsalliance.org>.

Для оценки качественных характеристик института экономисты пользуются общепринятыми определениями, а именно описывают институты как «хорошие» и «плохие». «Хорошими» называют такие институты, которые экономят усилия экономических агентов во время взаимодействия, помогают снизить уровень транзакционных издержек, повышают доверие в обществе и способствуют долгосрочным инвестициям в экономику, а «плохими» – такие институты, которые повышают издержки предпринимательской деятельности, снижают стимулы к добросовестному поведению и препятствуют развитию конкуренции и инвестициям. Таким образом, главными критериями отделения «плохих» институтов от «хороших» является их негативное

влияние на бизнес-активность и экономический рост.

В экономической литературе выделяют следующие причины появления плохих институтов: авторитарные политические режимы; сильное социальное неравенство; рентоориентированное поведение элиты и бюрократии; институциональная слабость государства; концентрированные источники природных ресурсов.

Авторитарные политические системы и экономическое неравенство, по мнению Д. Асемоглу и Дж. Робинсона, являются причиной низкого качества институтов в развивающихся странах [8]. Политическая элита таких режимов создает систему «институтов изъятия доходов» (extractive institutions) вместо характерных для

демократических стран «институтов широкого представительства» (inclusive institutions). Такие институты позволяют политической элите перераспределять богатство в свою пользу и ограничивать влияние широких масс на проводимую политику, тем самым институты изъятия доходов создают частные выгоды для элит за счет снижения благосостояния всего общества. Как правило, в таком, экстрактивном, государстве элита и трудовое население разделены культурными барьерами, препятствующими их смешению. Элита увеличивает свои доходы либо за счет трудового населения, либо благодаря ценному природному ресурсу [7], рутинно применяя насилие, захватывая собственность и политическую власть.

Институты широкого представительства, наоборот, позволяют распределить политическую власть между различными организациями и индивидами более равномерно, делают элиту более подотчетной обществу и создают стимулы для развития предпринимательства и торговли. Равномерное распределение политической власти ведет к устойчивому экономическому росту, поскольку широкие группы людей получают возможность воздействовать на политические решения, положительно влияющие на их благосостояние. В инклюзивном государстве элита не отделена от общества, она включает в себя лучших, готовых обеспечить посильный труд всем остальным. Именно те страны, которые раньше других вступили на путь эволюции институтов от первого типа ко второму, являются сегодня не только самым богатыми, но и имеют более равномерное распределение доходов и собственности среди своих граждан.

Однако преувеличивать роль политических режимов неправильно. История знает случаи, когда диктаторы сопротивлялись экономическому развитию, обогащаясь и разоряя свои страны, и случаи, когда они, напротив, форсировали экономический рост и выводили свои страны в мировые лидеры. С этими доводами согласен и Ф. Фукуяма [6], который утверждает, что политические институты не столь сильно влияют на экономическое развитие, как предполагалось ранее. Однако определенно роль формальных политических институтов в большей степени по сравнению с неформальными нормами зависит от курса политического руководства, в том числе от индивидуальных особенностей руководителей; от местных обстоятельств и от политической культуры, складывающейся веками в той или иной стране.

Гораздо более сильное влияние на формирование плохих институтов оказывает

высокое социальное неравенство, наличие могущественной элиты и многочисленной бюрократии, которые активно включаются в борьбу за политическую и бюрократическую ренту. В работе Л. Полищука и А. Саватеева [12] доказывается, что традиционное представление о том, что богатые граждане заинтересованы в создании хороших институтов, в частности системе полной защиты прав собственности, в корне неверно. Возможность перераспределения богатства вследствие рентоориентированного поведения, включающего механизм лоббирования, коррупции, захват собственности, смещает предпочтения богатых в сторону большего инвестирования в плохие институты, поэтому степень общественной защиты прав собственности падает. Отсутствие надежных механизмов защиты прав собственности богатые могут компенсировать использованием частных механизмов, в то время как общество в целом будет нести высокие транзакционные издержки от размытых прав собственности. Такое положение дел в экономике будет препятствовать институциональному развитию в направлении создания хороших институтов [13]. То есть, если в стране потенциальная рента велика, то инвесторам будет выгоднее вкладывать средства в присвоение ренты, а не в развитие производства и хорошие институты. Такой сценарий будет менее возможным, если рентоориентированная активность пресекается государством и гражданским обществом [3].

Институциональная слабость государства также может рассматриваться как фактор, негативно влияющий на закрепление плохих институтов. Под институциональной слабостью государства подразумевают государство, которое не справляется с выполнением своих функций, главными из которых являются национальная безопасность, правопорядок, защита прав собственности и прав свобод, созданных в обществе. Основным условием, которое обеспечивает выполнение формальных правил внутри страны всеми действующими субъектами, является возможность государства осуществлять организованные санкции. Для этого у государства должна быть монополия на насилие и возможность осуществления долгосрочных инвестиций в технологии мониторинга и принуждения, которые обеспечиваются благодаря доверию граждан [4]. В слабом государстве естественная государственная монополия на насилие вступает в конкуренцию с альтернативными организациями (например, организованной преступностью) и их институтами. Кроме того, в случае слабого государства олигархи могут

«захватить» базовые институты и осуществить их изменение в своих интересах, что неизбежно приведет к снижению степени защиты прав собственности [9].

Еще одним фактором, который может приводить к формированию плохих институтов, с одной стороны, и слабости государства, с другой, является обладание страной большими концентрированными источниками природных ресурсов. Ресурсное богатство страны, в противоположность обыденным представлениям, часто приводит к ее отставанию в экономическом развитии, так называемому «ресурсному проклятию».

На данную проблему ученые стали обращать внимание с начала 1970-х гг., когда система международного разделения труда оказалась под жестким влиянием мировых цен. В этот период изобилие ресурсов в стране и относительная дешевизна рабочей силы вынуждали развивающиеся страны делать ставку на ресурсный сектор в ущерб развитию отраслей с более сложной технологией и человеческим капиталом более высокого качества.

К основным причинам, которые приводят к отставанию ресурсодобывающих стран, можно отнести:

- снижение конкурентоспособности других секторов экономики вследствие оттока трудовых ресурсов и капитала в добывающие отрасли, что тормозит развитие производств с более сложной технологией и более совершенным человеческим капиталом;
- уменьшение экспорта традиционных несырьевых товаров вследствие перетока ресурсов в сырьевые сектора экономики;
- увеличение реального обменного курса, которое еще больше приводит к снижению ценовой конкурентоспособности продукции экспортноориентированных отраслей;
- высокая волатильность доходов от продажи ресурсов на мировом рынке;
- ошибки в государственном регулировании или развитие коррупции, связанные с притоком «лёгких» денег в экономику.

Изучая проблему «ресурсного проклятия», В. Полтерович, В. Попов и А. Тонис [5] различают «технологическое проклятие ресурсов» и «институциональное проклятие». Для преодоления первого необходимы эффективные институты и соответствующая промышленная политика. Однако обилие ресурсов, как показано многими авторами, приводит к закреплению плохих институтов [2, 11]. В свою очередь «институциональное проклятие» затрагивает политические институты, приводит к формированию либо власти олигархов, либо к авторитарным режимам. Благодаря сочетанию этих негативных факторов страна оказывается в ловушке

медленного развития. Более того, действие плохих институтов может приводить к формированию различных институциональных ловушек, т.е. неэффективных равновесных состояний экономической системы.

Таким образом, страны, обладающие концентрированными природными богатствами, сталкиваются с фундаментальным противоречием в своем развитии: «несостоятельность рынка требует государственного вмешательства, а низкое качество институтов обуславливает его неэффективность» [5]. Именно поэтому в таких странах стимулирующая экономическая политика опирается на протекционистские меры: устанавливается более высокий уровень таможенных пошлин, занижаются внутренние цены на топливо и т.п. Эти меры стимулируют экономический рост, но не энергосбережение и инновационную активность. Таким странам не удается долго поддерживать стабильный курс национальной валюты при изменении конъюнктуры на рынках природных ресурсов; они не могут в полной мере перераспределять доходы от экспорта ресурсов в развитие высокотехнологичных отраслей, являющихся основным источником экспортной экстерналии, потому что при слабом государстве и плохих институтах эти доходы зачастую расходуются непроизводительно.

Вышеназванные причины появления плохих институтов в той или иной степени присутствуют в современной России. Воспользуемся данными доклада 2014–2015 гг. Всемирного экономического форума (ВЭФ) для оценки состояния институциональной среды в России [15]. По качеству институтов Россия занимает 97 место из 144 стран с общим рангом 3,5. Данные о состоянии институтов в России по методике ВЭФ приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, в целом оценка качества институтов в России демонстрирует невысокий уровень. Чуть лучше обстоят дела с прозрачностью государственной политики, безопасностью ведения бизнеса и качеством корпоративного управления. Очень низкие показатели страна имеет в области независимости судов, бюрократической волокиты, коррупции и защите прав собственности.

Например, недостаточная защита прав собственности отрицательно влияет на развитие финансовых рынков, инвестиционный климат, структуру собственности, количество первичных публичных размещений акций (ИПО), политику выплаты дивидендов и т.п. В свою очередь, плохая защита прав собственности зависит от некачественной работы судебной системы, выражающейся в низкой компетентности судей и отсутствии независимости при принятии судебных решений.

Таблица 2

Результаты оценки институциональной среды в России

Название индикатора	Значение индикатора	Рейтинг России	Место России среди 144 стран
1	2	3	4
Property rights	Защита прав собственности, в том числе финансовых активов	3,3	120
Intellectual property protection	Защита интеллектуальной собственности, в том числе защита от нарушения авторских прав	3	107
Diversion of public fund	Нецелевое использование бюджетных средств	2,7	102
Public trust in politicians	Доверие общества к политикам	3	74
Irregular payments and bribe	Дополнительные платежи или взятки в связи с: а) импортом и экспортом; б) коммунальными услугами; в) ежегодными налоговыми платежами; г) получением государственных контрактов и лицензий; д) получением благоприятных судебных решений	3,4	102
Judicial independence	Судебная независимость от влияния со стороны членов правительства, граждан или фирм	2,9	109
Favoritism in decisions of government officials	Фаворитизм в решениях государственных чиновников	2,8	87
Wastefulness of government spending	Расточительность и неэффективность использования государственных расходов в предоставлении товаров и услуг	2,8	87
Burden of government regulation	Бремя государственного регулирования, выраженное в тяжести выполнения правительственных административных требований (например, разрешений, правил, отчетности)	2,9	111
Efficiency of legal framework in settling disputes	Эффективность правовых рамок в урегулировании споров	3,2	110
Efficiency of legal framework in challenging regulations	Эффективность правовых норм в регулировании вызовов государственной системе со стороны частного бизнеса (показатель отражает возможность бросить вызов действиям правительства и / или правилам в рамках правовой системы)	2,9	99
Transparency of government policymaking	Прозрачность государственной политики (отражает легкость для бизнеса в получении информации об изменениях в государственной политике и правилах, затрагивающих их деятельность)	4	68
Business costs of terrorism	Потери бизнеса в связи с высокой угрозой терроризма	4,6	104
Business costs of crime and violence	Потери бизнеса от преступности и насилия	4,5	70
Organized crime	Влияние организованной преступности (мафия, рэкет, вымогательство) на издержки бизнеса	4,2	101
Reliability of police services	Надежность полицейской службы (соблюдение законности и правопорядка полицейскими службами)	3,2	114
Ethical behavior of firms	Корпоративная этика компаний (этическое поведение фирм во взаимодействии с государственными чиновниками, политиками и другими фирмами)	3,9	72
Strength of auditing and reporting standards	Сила финансового аудита и стандартов отчетности (отражает четкость и однозначность трактовки стандартов)	4,1	106

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Efficacy of corporate boards	Эффективность советов директоров компаний (качество корпоративного управления со стороны инвесторов и советов директоров)	4,6	64
Protection of minority shareholders' interests	Защита интересов миноритарных акционеров (отражает степень защиты интересов миноритарных акционеров в рамках правовой системы)	3,5	118
Strength of investor protection	Сила защиты инвесторов (надежная защита прав инвесторов)	4,7	98

Примечание. Для определения значений 1–2, 4, 6, 10–12, 16–20 показателей использована шкала от 0 (отсутствие показателя) до 7 (максимальное значение показателя), для определения значений 3, 5, 7–9, 13–15 показателей использована шкала от 0 (максимальное наличие показателя) до 7 (отсутствие показателя), для последнего индикатора использована шкала от 0 до 10 (максимальное значение).

Недостаточная защита прав собственности снижает потенциальную капитализацию российских активов в десятки и сотни раз [1]. Именно поэтому стоимости российских компаний на фондовом рынке существенно меньше, чем европейских или американских компаний. Низкая стоимость компаний отражает неуверенность рынка в том, что менеджеры компаний не будут вести себя оппортунистически, т.е. используют имеющиеся у них возможности по искажению финансовой отчетности и выводу принадлежащей акционерам прибыли.

Таким образом, для повышения уровня конкурентоспособности российских компаний необходимо повышать качество институтов, особенно института прав собственности.

Список литературы

1. Гуриев С. Мифы экономики. Заблуждения и стереотипы, которые распространяют СМИ и политики. – М.: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 270 с.
2. Истерли У. В поисках роста. Приключения и злоключения экономистов в тропиках. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006. – 352 с.
3. Карташов Г. Экономический рост и качество институтов ресурсоориентированных стран // Квантиль. – 2007. – № 2. – С. 141–157.
4. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / пер. с англ. А.Н. Нестеренко. – М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. – 180 с.
5. Полтерович В., Попов В., Тонис А. Экономическая политика, качество институтов и механизмы «ресурсного проклятия». – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007. – 98 с.
6. Фукуяма Ф. Конец истории и последний человек / пер. с англ. М.Б. Левина. – М.: АСТ, 2007. – 588 с.
7. Эткинд А. Зависимость от ресурсов. Русская болезнь // Вести. 20.06.2014. URL: <http://www.vedomosti.ru/opinion/news/27948381/russkaya-bolezn?full#cut> (дата обращения: 23.01.2015).

8. Acemoglu D., Robinson J. Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty. – NY: Crown Publishing, 2012. – 529 p.

9. Glaeser E., Scheinkman J., Shleifer A. The Injustice of Inequality // Journal of Monetary Economics. – 2003. – Vol. 50. – № 1. – P. 199–222.

10. Hansson G. Institutions and their Measures: A Black Box of Goodies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/2712/1/gunwpe0206.pdf> (дата обращения: 10.01.2015).

11. Mehlum H., Moene K., Torvik R. Institutions and the resource curse [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.svt.ntnu.no/iso/ragnar.torvik/ej_march05.pdf (дата обращения: 04.01.15).

12. Polishchuk L., Savvateev A. Spontaneous (Non) Emergence of Property Rights // The Economics of Transition. – 2004. – Vol. 12, № 3. – P. 103–127.

13. Sonin R. Why the Rich May Favor Poor Protection of Property Rights // Journal of Comparative Economics. – 2003. – № 31. – P. 715–731.

14. The Global Competitiveness Report 2014–2015: Full Data Edition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf (дата обращения: 14.01.15).

References

1. Guriev S. *Mify ekonomiki. Zabluzhdeniya i stereotipy, kotorye rasprostranyayut SMI i politiki* [Myths of the economy. Misconceptions and stereotypes that distribute media and politicians]. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber Pubi., 2012. 270 p.
2. Isterli U. *V poiskakh rosta. Priklyucheniya i zloklyucheniya ekonomistov v tropikakh* [Adventures and Misadventures in the Tropics economists]. Moscow, Institute for complex strategic studies Press., 2006. 352 p.
3. Kartashov G. *Kvantil – Quantile*, 2007, no. 2, pp. 141–157.
4. Nord D. *Instituty, institutsionalnye izmeneniya i funktsionirovanie ekonomiki* [Institutions, Institutional Change and Economic Performance]. Translated from English by A.N. Nesterenko. Moscow, Fond ekonomicheskoy knigi «Nachala» Publ., 1997. 180 p.
5. Polterovich V., Popov V., Tonis A. *Ekonomicheskaya politika, kachestvo institutov i mekhanizmy «resurnogo proklyatiya»* [Economic policy, the quality of institutions and mechanisms of «resource curse»]. Moscow, HSE Publ. hous, 2007. 98 p.

6. Fukuyama F. *Konets istorii i posledniy chelovek* [The End of History and the Last Man]. Translated from English by M.B. Levin. Moscow, AST Publ., 2007, 588 p.

7. Etkind A. *Zavisimost ot resursov. Russkaya bolezнь* (Resource dependence. Russian illness) Available at: <http://www.vedomosti.ru/opinion/news/27948381/russkaya-bolezнь?full#cut> (accessed 23 January 2015).

8. Acemoglu D., Robinson J. *Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty*. NY: Crown Publishing, 2012, 529 p.

9. Glaeser E., Scheinkman J., Shleifer A. The Injustice of Inequality. *Journal of Monetary Economics*, 2003, Vol. 50, no. 1, pp. 199–222.

10. Hansson G. Institutions and their Measures: A Black Box of Goodies. Available at: <http://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/2712/1/gunwpe0206.pdf> (accessed 10 January 2015).

11. Mehlum H., Moene K., Torvik R. Institutions and the resource curse. Available at: http://www.svt.ntnu.no/iso/ragnar.torvik/ej_march05.pdf (accessed 4 January 2015).

12. Polishchuk L., Savvateev A. Spontaneous (Non)Emergence of Property Rights. *The Economics of Transition*, 2004, Vol. 12, no. 3, pp. 103–127.

13. Sonin R. Why the Rich May Favor Poor Protection of Property Rights. *Journal of Comparative Economics*, 2003, no. 31, pp. 715–731.

14. The Global Competitiveness Report 2014–2015: Full Data Edition. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf (accessed 14 January 2015).

Рецензенты:

Барышева Г.А., д.э.н., зав. лабораторией «Международная научно-образовательная лаборатория технологий улучшения благополучия пожилых людей», зав. кафедрой «Экономика», Институт социально-гуманитарных технологий, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Гасанов М.А.-оглы, д.э.н., профессор кафедры «Экономика», Институт социально-гуманитарных технологий, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

УДК 336.767

ОБЗОР КЛИЕНТСКИХ СЕГМЕНТОВ PRIVATE BANKING (ЧАСТНОГО БАНКОВСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ)

Парамонова В.Е.

*Московский государственный институт международных отношений,
Университет МИД России, Москва, e-mail: davvik@yandex.ru*

В настоящей статье описывается мировая клиентская база отрасли Private Banking (Частного банковского обслуживания) и основные тенденции ее развития за последние пять лет. Автор анализирует клиентские сегменты отрасли по следующим критериям: географическому, поведенческому и психологическому. Инвестиционные предпочтения, такие как структура портфеля по типу активов, география инвестирования, находятся в зависимости от региона проживания клиента. Подчеркивается важность психологических и поведенческих типов клиентов отрасли при формировании пакета услуг. Анализ клиентских групп необходим при подготовке клиентских менеджеров, роль которых особенно важна в этой отрасли. Основываясь на данных опроса, проведенного среди наиболее состоятельных клиентов одного из российских банков, автор дает важные черты такого консультанта. Данная статья полезна для составления общей картины отрасли Private Banking.

Ключевые слова: частное банковское обслуживание, сегментация клиентов, наиболее состоятельные физические лица (HNWI), клиентский менеджер, пакет услуг.

REVIEW OF PRIVATE BANKING CLIENT GROUPS

Paramonova V.E.

Moscow State Institute of International Relations, Moscow, e-mail: davvik@yandex.ru

The article below describes the world client base of Private Banking and main directions of its development for the last five years. The author analyses customer segmentation according to the following criteria: geographic, behavioral and psychological. Investment preferences such as asset allocation and the geography of investment depend on the region of the client's residence. The author underlines the importance of taking into account psychological and behavioral types of Private Banking clients while preparing services packaging. The research of client groups is essential for client managers training, who play a particularly important role in this sector. Following the results of a survey conducted among high net worth individual customers of a Russian bank, the author talks about most significant characteristics of such a manager. The following article will be useful for understanding the big picture of the Private Banking industry.

Keywords: Private Banking, customer segmentation, high net worth individuals (HNWI), client manager, services package

Классическая сегментация частных клиентов финансового сектора предполагает разделение на 4 группы, в зависимости от предложенных к размещению свободных средств: Retail (розничные клиенты), Mass Affluent (Affluent) (средний класс), High Net Worth Individuals (HNWI) (наиболее состоятельные физические лица) и Ultra HNWI (UHNWI) (суперсостоятельные физические лица). Указанные аббревиатуры будут использованы далее в тексте.

В зависимости от экономической «успешности» региона (или соответствующего института) финансовые границы такого разделения могут варьироваться, но базовым подходом будут следующие суммы:

- Retail – сумма до 100 000 USD;
- Mass Affluent (Affluent) – сумма до 1 000 000 USD;
- HNWI – сумма до 5 000 000 USD (Европа и США до 30 000 000 USD);
- UHNWI – сумма свыше 5 000 000 USD (Европа и США свыше 30 000 000 USD).

Каждый из вышеназванных сегментов при правильно выстроенном сервисе обслуживания в соответствующем подразделении финансового института по определенным именно для него методикам, а главное по определенной стоимости такого обслуживания.

Определяющим фактором клиента Private Banking является «отсечение» по сумме его активов, предназначенных для инвестирования (классический подход от 1 млн долларов США). В 2013 году в соответствии с Wealth Global Research (5) в мире насчитывалось около 13,7 миллионов человек, которых можно отнести к понятию HNWI, а следовательно, к потенциальной или уже обслуживаемой клиентской базе отрасли Private Banking (Частное банковское обслуживание) и Family office (Семейный офис).

Количество состоятельных людей с капиталом от 1 до 5 миллионов долларов США составляет 90,1 % от общего числа HNWI

в мире. При этом доля лиц с максимальным размером капитала (в данном исследовании от 3 млн долларов США) приблизительно равна 1 %, при том что именно данная группа владеет более чем третью общего размера состояний. Последний кризис значительно всего сказался на Ultra-HNWI, о чем свидетельствует максимальное по сравнению с другими анализируемыми группами снижение их общего количества (–2,5 %) и размера их состояний (–4,9 %) в посткризисные годы. Вместе с тем в последующий период эта «верхняя» группа смогла более других восстановиться (+10,5 %) и преумножить свои капиталы (+9,9 %). Это говорит о большей зависимости Ultra-HNWI сегмента от состояния мировой экономики.

Географическая сегментация клиентов и их предпочтения

Одной из особенностей Private Banking индустрии является сильное влияние на предлагаемый конкретному клиенту продуктовый ряд не только его рисковно-доходного профиля (что характерно для доверительно-го управления в целом), но и его географических и поведенческих характеристик.

Послевоенное первенство вот уже на протяжении 70 лет прочно удерживает Северная Америка с долей в 14,9 % от мирового капитала состоятельных людей в размере 42,6 триллионов долларов США на 2013 год. Около 15 лет назад Азиатский регион (14,2 %) обогнал Европу (12,4 %), что логично подтверждается бурным развитием азиатских стран и в первую очередь Китая. Прогнозируемое развитие ситуации на 2016 год не сильно изменит пропорции владения глобальным капиталом между регионами, но стоит отметить, что Азия может обойти в этой гонке США, хотя разница в 0,9 % кажется не существенной (18,8 % против 17,9 %).

Основываясь на статистических данных Capgemini, RBC Welthmanagement, можно выявить следующие инвестиционные предпочтения HNWI. Около 26,6 % (2014 г.) своих финансовых активов они держат в денежных средствах на счетах и депозитах. Такое поведение присуще всем HNWI, независимо от возраста и уровня капитала. Даже инвесторы, ставящие перед собой цель преумножения капитала, оставляют 26,4 % своего портфеля в денежных средствах, что незначительно меньше аналогичной доли капитала в размере 29,7 % тех HNWI, кто фокусируется на сохранении активов.

В ряде случаев, и это не удивительно, региональные различия в экономической ситуации и принятых культурных традициях играют существенную роль в инвести-

ционных предпочтениях. Так, в Японии, где консервативный инвестиционный подход укоренился за последние годы, местные HNWI держат практически половину (43,8 %) своих капиталов в денежных средствах. В Северной Америке же акции являются наиболее предпочтительным классом активов, составляя долю в 32,5 %. А вот в Латинской Америке большую сумму средств (27,6 %) привлекает рынок недвижимости, который сохраняет свои сильные позиции, несмотря на прошедший кризис, и 29 % – денежный рынок.

Альтернативные инвестиции HNWI составили в 2014 году в среднем 10 %, где структурные продукты и прямые инвестиции поделили эту долю практически пополам. Еще в 2012 году состоятельные люди Северной Америки держали в этом классе активов наиболее значительные суммы (27,2 %) по сравнению с другими регионами, но в 2014 доли этих инструментов в портфелях исследуемых региональных групп клиентов сравнялись. В развивающихся странах, особенно относящихся к Азиатско-Тихоокеанскому региону, местные HNWI предпочитают вкладывать в альтернативные инвестиции, номинированные в долларах США.

Как правило, состоятельные люди предпочитают инвестировать на своих, «домашних» рынках. От 68 % (Северная Америка) до 54 % (Ближний Восток и Африка) активов HNWI размещают в своем регионе. Хотя процесс глобализации продолжается, и по сравнению с 2013 годом доля «домашних» инвестиций снизилась на 10 % по всем регионам.

Поведенческая и психологическая типология клиентов Private Banking

В отрасли существует множество вариантов сегментирования клиентов, разрабатываемых для повышения эффективности работы клиентских менеджеров. Большее понимание покупателя услуг позволяет выстроить более доверительные отношения с ним. Это служит залогом длительного сотрудничества, часто измеряемого поколениями и, что немаловажно, является самым лучшим способом привлечения новых клиентов через рекомендации существующих.

На рынке принята следующая сегментация клиентов на основе их поведенческих характеристик.

Инноваторы (Quietly Confident). Это люди с постоянным желанием менять все вокруг себя и в первую очередь свой бизнес к лучшему. Карьера и собственное развитие очень важны для них. Они с одинаковым усердием вкладываются как в котируемые

ценные бумаги, так и делают инвестиции за пределами фондового рынка. Инноваторы тратят много времени на то, чтобы заставить деньги работать эффективно и более других доверяют советам профессионалов. Они проявляют мало интереса к статусным покупкам (престижные машины, яхты, недвижимость), часто занимаются благотворительностью и вкладывают много денег в собственное образование.

Семейные \ приверженцы семьи \ родоначальники (**Family Activists**). Чаще всего к этой группе относятся женщины, и их главной целью является желание защитить будущее своей семьи и остаться в памяти потомков «хорошим человеком». Они не уделяют много времени личным активам, в большинстве случаев у них преобладают нефинансовые цели. Они не обращаются к профессиональным консультантам, доверяя только собственной семье. «Семейные» тратят деньги на путешествия и семью, реже на статусные покупки. Однако с удовольствием покупают недвижимость и вкладывают существенные суммы в образование своих детей.

Лидеры (**Headliners**). В основном, это мужчины и собственники бизнеса. Они тратят много времени на преумножение капитала за счет друзей, семьи и удовольствий. Лидерство в своей области и преумножение собственного капитала – их основные цели. Они предпочитают тратить деньги на вещи, которые подчеркивают их статус: часы, ювелирные изделия, машины, одежду. Но по мере умножения капитала они больше концентрируются на отдыхе, удовольствиях и хобби.

Скользкие по жизни (**Life surfers**). По большей части это наемные сотрудники, не очень амбициозные и предпочитающие посвящать большую часть своего времени получению удовольствия. Они ухаживают за собой и своими близкими за счет средств, получаемых благодаря продвижению по служебной лестнице. Деньги для них важны, так как являются залогом их финансового благополучия, позволяют им отдыхать и развлекаться. Они самостоятельно принимают финансовые решения и большую часть капитала, как правило, тратят на недвижимость, вещи, которые им нравятся, будь то одежда или ювелирные изделия. Они не слишком интересуются собственным образованием.

Верное понимание того, к какому типу относится клиент, позволяет консультанту (или клиентскому менеджеру) предложить ему наиболее подходящий набор услуг, включая формирование персонального портфеля инвестиций.

По данным Family Office Research, наиболее часто встречающийся тип клиента Private Banking – это Инноваторы, они составляют 42% от общего числа HNWI. Будучи по своей натуре интровертами, они тем не менее предпочитают более рискованные инструменты для инвестирования по сравнению с импульсивными и открытыми «Скользкими по жизни» (10%). Самым агрессивным с точки зрения инвестирования и не менее требовательным, а следовательно, и сложным клиентским типом является Лидер. Однако этот клиент при правильно выстроенных с ним отношениях может оказаться и наиболее прибыльным, так как чаще других склонен покупать услуги консультантов и финансовых институтов на рынке.

Обслуживание в Private Banking есть само по себе продукт, по которому клиенты оценивают банк. Хороший сервис в анализируемой отрасли – это совокупность услуг и продуктов, подобранных для конкретного клиента, предлагаемых профессиональным клиентским менеджером в удобных для клиента форме и времени.

Наиболее важным элементом является специалист, непосредственно контактирующий с клиентом. Можно подобрать самые лучшие продукты на рынке и составить прекрасную отчетность по проведенным операциям, но без грамотно выбранного подхода и выстроенных отношений с клиентом невозможно быть успешным на этом рынке. Это специфика. Ниже представлены главные характеристики хорошего клиентского менеджера, как их определили HNWI в ходе опроса одного из российских банков:

- должен вызывать доверие;
- обладать необходимыми знаниями о продуктах и услугах;
- придерживаться определенных этических норм (сохранять конфиденциальность);
- обладать коммуникативными способностями;
- быть ответственным.

В идеале клиентский менеджер должен стать главным советником клиента для решения всех его финансовых и нефинансовых вопросов.

Самое главное – понять, какие цели преследуют в жизни клиента, и постараться максимально помочь ему в их достижении. Сегментирование клиентов по приведенным выше критериям является серьезным подспорьем в этом процессе.

Любой успешный бизнес зиждется на глубоком понимании своего клиента и его

потребностей. Причем не столько текущих, сколько будущих. Предугадать желание клиента, подготовиться к грядущим изменениям, внести необходимые коррективы в клиентское предложение, сервис и продуктовый ряд – все это необходимо для существования на рынке в любой отрасли и очень важно для игроков Private Banking, учитывая тяжелую конкуренцию и требовательную клиентскую базу состоятельных людей.

Список литературы

1. Беккер И. Не потеряй! О чем умолчал «папа» Кийосаки? Философия здравого смысла для частного инвестора. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 268 с.
2. Гусев А.И. Управление капиталом: перспективы российского Private Banking / А.И. Гусев, А.В. Куликов, Д.В. Парамонов; под ред. И. Фатиева. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 196 с.
3. Гусев А.И. Private Banking по-русски?!: сборник / под ред. А.И. Гусева. – М.: КНОРУС, 2013. – 304 с.
4. Парамонова В.Е. Основные пути выхода частных инвесторов на фондовый рынок: от брокера до семейного офиса: учебное пособие. – М.: МГИМО-Университет, 2015. – 133 с.
5. World Wealth Report, 2014 // Capgemini, RBC Wealthmanagement. – RBC, 2014. – 52 с.

References

1. Bekker I. Ne poterjay! O chem umolchal «papa» Kiyosaki? Filosofija zdravogo smysla dlya chastnogo investor (Do not lose! What «papa» Kiyosaki did not say? Philosophy of common sense for private investor). Moscow. Alpina Business Books, 2009. 268 p.
2. Gusev A.I., Kulikov A.V., Paramonov D.V. Upravlenije kapitalom: perspektivy rossiyskogo Private Banking (Capital Management: prospects of Russian Private Banking). Edited by I. Fatieva Moscow. Alpina Business Books, 2005. 196 p.
3. Gusev A.I. Private Banking po-russki?! (Private Banking in Russian?!): Compilation. Group of authors, edited by Gusev A.M. KNORUS, 2013. pp. 304.
4. Paramonova V.E. Osnovnye puti vykhoda chastnykh investorov na fondovyy rynek: ot brokera do semeynogo ofisa: uchebnoe posobie (The main ways of entrance to capital market for private investors: from broker to Family office: school-book). Moscow. MGIMO-University, 2015. 133 p.
5. World Wealth Report, 2014. Capgemini, RBC Wealthmanagement. RBC. 2014. 52 p.

Рецензенты:

Буренин А.Н., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой фондового рынка МГИМО (У) МИД России, г. Москва;

Котляров Н.Н., д.э.н., профессор кафедры «Мировая экономика и международный бизнес», Финансовый университет, г. Москва.

УДК 159.91; 303

МЕТОД ПИКТОПОЛИГРАФИИ КАК СПОСОБ ОБЪЕКТИВАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**Подопригора М.Г., Тытарь А.Д.***ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: mgpodoprigora@sfsedu.ru*

Статья посвящена исследованию возможностей пиктополиграфии в психодиагностике. Данный подход объединяет в себе как психологические, так и психофизиологические методы и реализуется с помощью специального программного обеспечения, разработанного фирмой «Медиком МТД». В качестве примера приведено исследование характера межличностных отношений студентов вуза. Показаны расхождения в результатах прохождения теста Т. Лири на основе предоставления вербального стимульного материала и оценки показателей электроэнцефалограммы, электрокардиографии, фотоплетизмограммы и др., а также результаты обработки данных с графического планшета (степень давления на перо при ответе на конкретный вопрос). Сделан вывод о том, что пиктополиграфия в дополнение к классическим методам психодиагностики способна предоставить объективную всестороннюю информацию об изучаемых параметрах личности человека, практически исключая фактор субъективации при проведении и анализе результатов исследований.

Ключевые слова: пиктополиграфический метод, психодиагностика, объективация результатов тестирования**PICTOPOLYGRAPHIC METHOD AS A WAY OF PSYCHODIAGNOSTIC RESEARCH RESULTS OBJECTIFICATION****Podoprigora M.G., Tytar A.D.***Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: mgpodoprigora@sfsedu.ru*

The article investigates the possibilities piktopoligrafiyi in psycho-diagnostics. This approach combines both psychological and psychophysiological methods, and is implemented using a special software developed by «Medicom MTD». As an example, given the nature of the study of interpersonal relations of university students. Showing differences in the results of the test on the basis of T. Leary verbal stimulus material and evaluation indicators electroencephalogram, electrocardiogram, photoplethysmogram et al., and the results of data processing with a graphics tablet (degree of pressure on the pen in response to a specific question). Concluded that piktopoligrafiya in addition to the classical methods of psycho-diagnostics can provide an objective comprehensive information about the studied parameters of human personality, virtually eliminating the factor of subjectivation in conducting and analyzing the results of research.

Keywords: piktopoligraph method, psychological testing, the objectification of test results

Основной нерешенной на сегодняшний день проблемой психодиагностики является достаточный субъективизм методов, наиболее часто используемых для выявления и анализа личностно-психологических особенностей человека. В связи с этим актуализируется необходимость в объективации уже существующих психодиагностических методов, что становится возможным благодаря использованию нового интегрированного подхода – пиктополиграфии, исследованию и описанию которого и посвящена настоящая статья.

Краткая характеристика метода

Метод пиктополиграфии соединяет в себе не только уже существующие психологические и психофизиологические методы, но также включает в себя эмоционально-оценочную шкалу, дающую возможность четко определить степень значимости предъявляемых стимулов человеку в условиях процесса исследования с помощью одновременной интеграции-дифференциации

вегетативной (Y), ментальной (X) и моторной (Z) составляющих [1; 2; 5]. Данный подход реализуется с помощью эгоскопа (программного обеспечения, созданного на базе синтеза двух подходов: полиграфии и проективного метода), который позволяет автоматически документировать и обрабатывать результаты исследования, синхронно регистрируя показатели электроэнцефалограммы (ЭЭГ) – вектор X; электрокардиографии (ЭКГ), фотоплетизмограммы (ФПГ) и др. – вектор Y; а также результаты обработки данных с графического планшета (степень давления на перо) – вектор Z [1; 2]. Таким образом, метод пиктополиграфии не заменяет, а дополняет классические методы психодиагностики, практически исключая фактор субъективации [3; 4].

В качестве демонстрации возможностей пиктополиграфии нами было проведено изучение стилей межличностного взаимодействия студентов 4-го курса кафедры менеджмента Южного федерального университета.

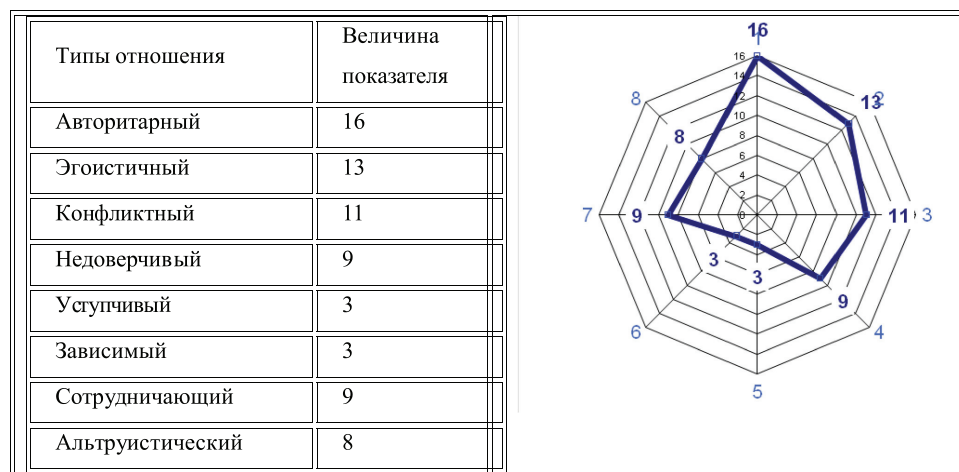


Рис. 1. Результаты психологического теста Т. Лири. Психограмма

Процедура исследования включала проведение тестирования на эгоскопе [2]. В качестве стимульного материала использовалась методика диагностики типов межличностных отношений и межличностного взаимодействия Т. Лири. Обследуемым предлагалось при помощи электронной ручки на графическом планшете отметить те характеристики, которые наиболее соответствуют их представлению о себе на данный момент.

Ниже представлены несколько примеров, наиболее ярко демонстрирующих возможность применения метода пиктополиграфии, дополняющего традиционное психологическое тестирование.

Обследуемый 1:

жен, 22 года, студентка А.

Тестовая методика Т. Лири (рис. 1) показывает, что наиболее предпочитаемой обследуемым и соответственно реализуемой им во внешней среде является позиция доминирования (авторитарность – 16 баллов; эгоистичность – 13 баллов).

Данный стиль межличностного взаимодействия выражается в независимости, ориентации на себя, стремлении преобладания собственных интересов над другими, неподчиняемости. Абсолютно подтверждающими доминирующий тип взаимодействия являются низкие баллы по шкалам зависимость и уступчивость (по 3 балла).

Профиль смысло-эмоциональной значимости (рис. 2 и 3) дает нам несколько иную картину о типе межличностных отношений обследуемого по сравнению с результатами, полученными в тестовой методике.

Исходя из полученных результатов пиктополиграфического обследования, мы видим, что способ поведения, который реализует обследуемый, отличается конформностью, ориентацией в большей степени на других, а не на себя, зависимостью, неуверенностью в себе и является противоположным тому, который представлен нам тестовой методикой.

Имя СК	Г	Значе..	m		Достове..	Параметр	СМК	Балл
Авторитарный	-10	3			p<0.005	XYZ	X>Z*>Y	16
Эгоистичный	-6	3			p<0.05	XYZ	Z>XY	13
Конфликтный	10	3			p<0.005	XYZ	X>Y*>Z	11
Недоверчивый	6	2			p<0.01	XYZ	X>Y*>Z	9
Уступчивый	-3	4			p>0.05	XYZ	X>Z>Y	3
Зависимый	13	3			p<0.001	XYZ	X*>Y*>Z	3
Сотрудничающий	-9	4			p<0.05	XYZ	XY>Z	9
Альтруистический	2	4			p>0.05	XYZ	ZX>Y	8

Рис. 2. Профиль смысло-эмоциональной значимости по основным смысловым кластерам (ОСК)

Имя СК	Г	Значе..	m		Достове..	Параметр	СМК	Балл
Доминирование	-8	2			p<0.001	XYZ	XZ*>Y	29
Агрессивность	8	2			p<0.001	XYZ	X>Y*>Z	20
Подчинение	5	2			p<0.05	XYZ	X>Z>Y	6
Дружелюбие	-4	3			p>0.05	XYZ	YX>Z	17

Рис. 3. Профиль смысло-эмоциональной значимости по главным смысловым кластерам (ГСК)

Благодаря пиктополиграфии можно понять, что на самом деле авторитарный тип отношений испытуемым не принимается, избегается, **подавляется** как на уровне осознания, так и на уровне действия ($X > Z^*$). Анализируя полученные результаты, мы наблюдаем несоответствие значений, полученных путем привычного нам бланкового тестирования и пиктополиграфии. Вполне возможно предположить существование внутреннего конфликта, либо осознанной неискренности испытуемого при ответах на вопросы бланкового теста, что в принципе, тоже свидетельствует о внутренних противоречиях между тем, как «мне бы хотелось взаимодействовать» и как «я взаимодействую на самом деле».

Вывод, который мы можем сделать, заключается в том, что из-за неуверенности в себе обследуемый подавляет свою

активность, свое желание доминировать, тем самым, занимая пассивную позицию, реализует зависимый тип отношений. Эта несогласованность желаемого и реального поведения выражается в высокой раздражительности, враждебности, критичности, недоверии, обидчивости, агрессивном и недружелюбном отношении к окружающим.

Обследуемый 2:

жен, 20 лет, студентка Т.

Как показано на рис. 4, испытуемый получил самые высокие баллы по шкалам «сотрудничающий» и «альтруистический». Это говорит нам о том, что в отношениях с окружающими он ориентирован в основном на дружелюбные формы взаимодействия.

Пиктополиграфическое исследование демонстрирует нам противоположный результат у данного испытуемого (рис. 5 и 6).

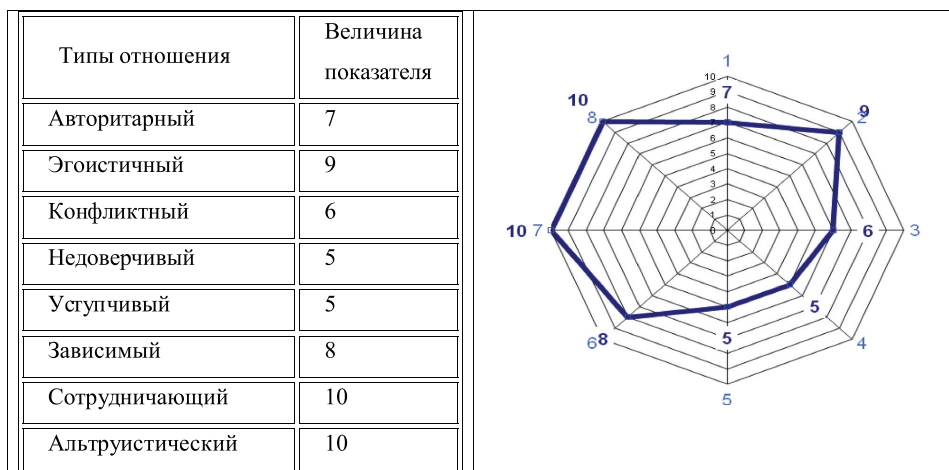


Рис. 4. Результаты психологического теста Т. Лири. Психограмма

Имя СК	Г	Значе..	m		Достове..	Параметр	СМК	Балл
Авторитарный	-3	3			$p > 0.05$	XYZ	$X > YZ$	7
Эгоистичный	-8	3			$p < 0.005$	XYZ	$Y^*X > Z$	9
Конфликтный	-3	4			$p > 0.05$	XYZ	$ZX > Y$	6
Недоверчивый	-1	3			$p > 0.05$	XYZ	$Z > X > Y$	5
Уступчивый	5	3			$p > 0.05$	XYZ	$Y > ZX$	5
Зависимый	9	3			$p < 0.005$	XYZ	$ZY^* > X$	8
Сотрудничающий	-4	3			$p > 0.05$	XYZ	$YZ > X$	10
Альтруистический	4	4			$p > 0.05$	XYZ	$Z > Y > X$	10

Рис. 5. Профиль смысло-эмоциональной значимости по ОСК

Имя СК	Г	Значе..	m		Достове..	Параметр	СМК	Балл
Доминирование	-5	2			$p < 0.01$	XYZ	$Y^* > Z > X$	16
Агрессивность	-2	2			$p > 0.05$	XYZ	$Z > X > Y$	11
Подчинение	7	2			$p < 0.001$	XYZ	$Y^*Z > X$	13
Дружелюбие	-0	2			$p > 0.05$	XYZ	$Z > Y > X$	20

Рис. 6. Профиль смысло-эмоциональной значимости по ГСК

На рис. 5 можно наблюдать, что вектор по фактору «сотрудничающий» направлен влево от нулевой оси. Это направление свидетельствует о неприятии данного стиля взаимодействия как на эмоциональном, так и на поведенческом уровнях ($YZ > X$). Альтруистический тип взаимоотношений осуществляется в основном только на уровне действия, эмоционально он слабо подкреплен и практически не осознается ($Z > Y > X$). Преобладание эгоистических направленностей в межличностных взаимодействиях мы диагностируем по результатам тестового опроса (рис. 4). Но анализируя профиль эмоциональной значимости (рис. 6), мы наблюдаем обратное: испытуемый не ориентируется на себя, эмоционально негативно реагирует на стратегию доминирования во взаимоотношениях ($Y \cdot X > Z$). Эта тенденция в поведении подтверждается в пиктополиграфии показателями по шкале «зависимый», характеризующимися высокой энергетической наполненностью и направленностью в сторону принятия данного стиля поведения. Для обследуемого другие люди являются более значимыми, чем он сам, все его действия направлены на удовлетворение чужих потребностей,

он конформен, чувствителен, личные интересы ставятся им на второй план, в основном ориентирован не на собственное мнение, а на мнения окружающих.

Вышеизложенное позволяет нам сделать вывод о преобладающей у испытуемого в поведении ориентации подчинения. При этом стратегия доминирования и эгоизм ему не присущи. Дружелюбный тип межличностного взаимодействия у обследуемого также слабо сформирован (рис. 6).

Обследуемый 3: жен, 21 год, студентка.

На рис. 7 представлены результаты вербальных ответов испытуемого. Как мы видим, наибольшая выраженность наблюдается по показателям эгоизма, наименьшая – уступчивости и сотрудничества.

Результаты пиктополиграфического обследования свидетельствуют о том, что тип взаимодействия, который реализует обследуемый 3, отличается активностью, направленностью на себя в сочетании с готовностью учитывать интересы других и низкой подчиняемостью. В отношении с окружающими просматривается тенденция недоверчивости (рис. 8). Авторитарных установок в выстраивании линии поведения не присутствует.

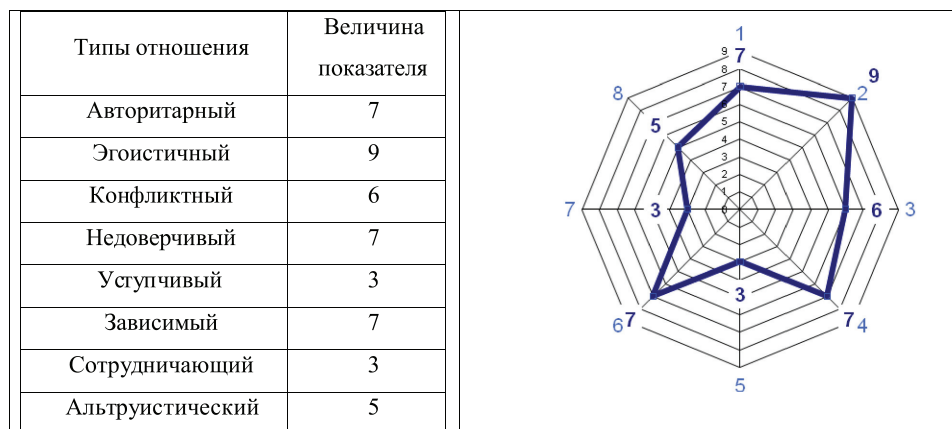


Рис. 7. Результаты психологического теста Т. Лири. Психограмма

Имя СК	Г	Значе..	m	q	Достове..	Параметр	СМК	Балл
Авторитарный		-2	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z^* > Y > X$	7
Эгоистичный		2	3		$p > 0.05$	XYZ	$X > Z > Y$	9
Конфликтный		-1	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z > Y > X$	6
Недоверчивый		2	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z > Y > X$	7
Уступчивый		0	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z > X > Y$	3
Зависимый		-2	3		$p > 0.05$	XYZ	$X > Y > Z$	7
Сотрудничающий		-1	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z > Y > X$	3
Альтруистический		2	3		$p > 0.05$	XYZ	$Z > X > Y$	5

Рис. 8. Профиль смысло-эмоциональной значимости по ОСК

Имя СК	Значен..	m	q	Достовер..	Параметр	СМК	Балл
Доминирование	-1	5		p>0.05	X	X	16
Доминирование	3	3		p>0.05	Y	Y	16
Доминирование	-6	4		p<0.05	Z	Z	16
Доминирование	-1	2		p>0.05	XYZ	Z>Y>X	16
Агрессивность	-2	6		p>0.05	X	X	13
Агрессивность	3	3		p>0.05	Y	Y	13
Агрессивность	-2	4		p>0.05	Z	Z	13
Агрессивность	1	2		p>0.05	XYZ	Y>X>Z	13
Подчинение	3	5		p>0.05	X	X	10
Подчинение	-3	3		p>0.05	Y	Y	10
Подчинение	3	4		p>0.05	Z	Z	10
Подчинение	-1	2		p>0.05	XYZ	Y>XZ	10
Дружелюбие	1	5		p>0.05	X	X	8
Дружелюбие	-2	3		p>0.05	Y	Y	8
Дружелюбие	6	4		p>0.05	Z	Z	8
Дружелюбие	1	2		p>0.05	XYZ	Z>Y>X	8

Рис. 9. Профиль смысло-эмоциональной значимости по ГСК

На рис. 9 хорошо показано, что какого-то определенного стиля взаимодействия у испытуемого нет.

Таким образом, как показало исследование, по результатам вербального теста достаточно сложно интерпретировать близость противоречивых показателей. Но при обращении к пиктополиграфии становится очевидным то, в чем именно заключается эта противоречивость. Сравнивая полученные результаты пиктополиграфического обследования, возможно получить наиболее полную объективную картину представлений об осуществляемом стиле межличностного взаимодействия, исключая возможность действия психологических защит либо неискренности обследуемого.

Выводы

Резюмируя вышесказанное, мы видим перспективу использования метода пиктополиграфии, реализованного в рамках программного обеспечения «Эгоскоп» и дополняющего психологическое тестирование. В сочетании с традиционными психодиагностическими методиками он делает достаточно объективным само исследование, что повышает достоверность получаемых результатов и не дает возможности специалисту совершить ошибку в последующих выводах, позволяя более точно сформулировать психокоррекционные задачи.

Список литературы

1. Объективный психологический анализ и тестирование «Эгоскоп». Руководство пользователя. – Таганрог: НПКФ «Медиком МТД», 2007. – 110 с.
2. Официальный сайт ООО научно-производственно-конструкторской фирмы «Медиком МТД» (Таганрог, Россия) [электронный ресурс]. – URL: <http://www.medicom-mtd.com> (дата обращения: 12.01.2014).

3. Tytar A.D., Podoprigora Marina G., Nazvanova I.A. Pictopolygraphy as a method of future managers' personality assessment // Management: Scientific & Academic Publishing, USA, 2013, 3(7A). – P. 8–15.

4. Тытарь А.Д., Подопригра М.Г., Названова И.А. Прогноз копинг-поведения менеджеров в стрессовой ситуации // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 15. – № 3. – С. 87–94.

5. Тытарь А.Д., Тытарь Е.Т., Ершов В.И. Пиктополиграфический метод для обнаружения преднамеренных психологических характеристик менеджера. // Материалы международной конференции 21–24 сентября 2009 года. – Волгоград, 2009. – С. 46.

References

1. Obektivnyj psihologicheskij analiz i testirovanie «Jegoskop». Rukovodstvo polzovatelja. Taganrog: NPKF «Medikom MTD», 2007. 110 p.
2. Oficialnyj sayt ООО nauchno-proizvodstvenno-konstruktorskoj firmy «Medikom MTD» (Taganrog, Rossija) [jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.medicom-mtd.com> (data obrashhenija: 12.01.2014).
3. Tytar A.D., Podoprigora Marina G., Nazvanova I.A. Pictopolygraphy as a method of future managers personality assessment // Management: Scientific & Academic Publishing, USA, 2013, 3(7A). pp. 8–15.
4. Tytar A.D., Podoprigora M.G., Nazvanova I.A. Prognoz koping-povedenija menedzherov v stressovoj situacii // Sbornik nauchnyh trudov Sworld. 2013. T. 15. no. 3. pp. 87–94.
5. Tytar A.D., Tytar E.T., Ershov V.I. Piktopoligraficheskij metod dlja obnaruzhenija prednamerennyh psihologicheskikh harakteristik menedzhera. // Materialy mezhdunarodnoj konferencii 21–24 sentjabrja 2009 goda. Volgograd, 2009. pp. 46.

Рецензенты:

Макарова Е.А., д.псих.н., профессор кафедры теоретической и прикладной психологии, Таганрогский институт управления и экономики, г. Таганрог;

Финаев В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой систем автоматического управления, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону.

УДК 334.735: 631.15

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПО РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

Саенко И.И.

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», филиал,
Армавир, e-mail: saenkoirina@yandex.ru*

Совершенствование существующих форм, методов и механизмов государственной поддержки, направленных на развитие сельскохозяйственной потребительской кооперации, является одним из способов по преодолению мелкотоварного производства и повышения финансовой устойчивости сельскохозяйственных организаций. В методологическом аспекте обоснованы приоритетные направления формирования механизма государственной поддержки и стимулирования развития сельскохозяйственной потребительской кооперации в регионе на основе приоритетности финансово-кредитной, информационно-консультационной форм. Детализируя представленный механизм, направленный на формирование благоприятных условий для создания сельскохозяйственных потребительских кооперативов, хозяйственной заинтересованности субъектов аграрного сектора, предлагается методика более эффективной государственной поддержки производителей сельскохозяйственного сырья в зависимости от использования ресурсного потенциала. Предложенная методика позволит обосновать размер дотаций по каждому хозяйству и определить размеры субвенций в разрезе хозяйств. Непосредственная поддержка субъектов аграрного сектора позволит не только стимулировать повышение эффективности использования ресурсного потенциала, увеличение объемов производства сырья, но и приведет к концентрации ресурсов в руках эффективных пользователей, что в общем скажется на развитии и укреплении межхозяйственных связей в регионе.

Ключевые слова: межхозяйственные связи, государственное регулирование, сельскохозяйственная потребительская кооперация, аграрный сектор, государственная поддержка, финансовая помощь, агропромышленный комплекс

IMPROVING PUBLIC SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL CONSUMER COOPERATION IN THE AGRARIAN SECTOR

Saenko I.I.

VPO «Kuban State University», branch, Armavir, e-mail: saenkoirina@yandex.ru

Perfection of existent forms, methods and mechanisms state supports sent to development of agricultural consumer cooperatives, is one of methods on overcoming small-scale productions and increases of financial stability of agricultural organizations. In a methodological aspect priority directions of forming of mechanism of state support and stimulation of development of agricultural consumer co-operation are reasonable in a region on the basis of priority financially by a credit, informatively-consultative forms. Going into detail the presented mechanism, sent to forming of favourable terms for creation of agricultural consumer cooperative stores, economic personal interest of subjects of agrarian sector, methodology of more effective state support of producers of agricultural raw material is offered depending on the use of resource size potential. An offer methodology will allow to ground the size of grants on every economy and define the sizes of in the cut of economies. Direct support of subjects of agrarian sector will allow not only to stimulate the increase of efficiency of the use of resource potential, increase of production of raw material volumes but also will result in the concentration of resources in the hands of effective users, that in general will affect on development and strengthening of economic links connections in a region.

Keywords: economic links, government regulation, agricultural consumer cooperatives, the agricultural sector, government support, financial aid, agriculture

Успешное развитие экономики государства во многом зависит от процесса создания региональной мезоэкономической среды. В регионах агропромышленного типа огромное влияние на формирование такой среды оказывает агропродовольственный комплекс региона, основными целями которого являются обеспечение устойчивого и эффективного производства, формирование рынков, надежное продовольственное обеспечение населения страны, повышение уровня доходов сельскохозяйственных организаций.

Однако в настоящее время аграрный сектор претерпевает значительные трудно-

сти, связанные со снижением рентабельности сельскохозяйственных организаций, сокращением производства отдельных видов растениеводческой и животноводческой продукции и низко технологичным использованием ресурсов. Имеющиеся проблемы могут быть в значительной степени решены путем совершенствования инструментов и методов регулирования на основе новых научных подходов в финансово-кредитном, информационно-консультационном и кадровом направлениях государственного регулирования агропромышленного комплекса, обеспечивающих преодоление

негативных тенденций развития сельскохозяйственного производства и способствующих формированию кооперационных связей в аграрном секторе региона.

Государственное регулирование агропромышленного производства представляет собой экономическое воздействие государства на производство, переработку и реализацию сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, а также на производственно-техническое обслуживание и материально-техническое обеспечение товаропроизводителей.

Государственное регулирование кооперации должно осуществляться по таким важнейшим направлениям, как формирование и функционирование рынка сельскохозяйственных продуктов, финансирование, льготное кредитование, страхование и налогообложение участников межхозяйственных формирований, развитие сельскохозяйственной науки и социально-экономической сферы на селе [2].

Существующая система мер государственной поддержки способствует дальнейшему переходу к мелкотоварному производству. Необходимость усиления стимулирующей роли государства в регулировании межхозяйственных связей в региональном аграрном секторе состоит в приоритетности государственной поддержки развития сельскохозяйственной потребительской кооперации, не снижая уровня существующей поддержки индивидуальных сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Государственное регулирование процессов кооперации и интеграции в агропромышленном производстве должно осуществляться на всех уровнях: федеральном, региональном и местном.

При осуществлении политики государственного регулирования межхозяйственных связей в России необходимо организовать тесное сотрудничество государственных органов с участниками межхозяйственных отношений с целью обеспечения поддержки их деятельности в современной рыночной среде.

В наиболее общем плане усилия федерального центра и региональных органов власти целесообразно сконцентрировать:

1) на формировании и регулировании единого продовольственного рынка и рынка материально-технических ресурсов для сельского хозяйства и других отраслей аграрного сектора;

2) осуществлении гибкой и эффективной внешнеторговой политики;

3) проведении единой общегосударственной земельной, финансово-кредитной и налоговой политики;

4) организации общегосударственных контрольных функций (качества продовольствия; ветеринарного, экологического, технико-технологического контроля; рационального и бережного использования земель);

5) научном, консультативном, информационном и кадровом обеспечении аграрного сектора экономики.

Задачами программ развития сельскохозяйственной кооперации в региональном аграрном секторе должны стать: развитие правовых, экономических и организационных условий для эффективной деятельности кооперативов; формирование инфраструктуры их производственно-технического обеспечения и технологического обслуживания; совершенствование механизма финансово-кредитной поддержки кооперативов; развитие системы информационно-консультационного и кадрового обеспечения [1].

На краевом уровне необходимо принять законодательные, нормативные и правовые акты по стимулированию и государственной поддержке создания и деятельности кооперативов с учетом местных условий; разработать и реализовать региональные программы развития агропромышленной интеграции и сельскохозяйственной кооперации; осуществлять меры поддержки за счет средств краевого бюджета; отработать экономические механизмы деятельности агропромышленных формирований; осуществлять пропаганду и внедрение опыта развития агропромышленных формирований.

На территории Краснодарского края в настоящее время имеется большое количество сельскохозяйственных товаропроизводителей с небольшой ресурсной базой, находящихся, или приближающихся к стадии полного банкротства и нуждающихся в структурной перестройке. Решать данный вопрос мы предлагаем путем государственной поддержки развития сельскохозяйственной потребительской кооперации мелких сельскохозяйственных товаропроизводителей, испытывающих дефицит производственных ресурсов, направленной на диверсификацию производства. Необходимо выработать механизм государственной поддержки по формированию финансовых ресурсов обеспечения функционирования кооперативов первого и второго уровня. Самостоятельно сельскохозяйственные потребительские кооперативы первого уровня не смогут привлечь финансовые ресурсы в виде кредитов банков, так как не имеют залоговой базы

Для совместного обслуживания своей деятельности кооперативы первого уровня, необходимо объединить в сельскохо-

зяйственные потребительские кооперативы второго уровня. Данные кооперативы создают залоговую базу и выступают поручителями перед банками для возможности заключения кредитных договоров.

Сельскохозяйственные потребительские кооперативы второго уровня взаимодействуют в интересах нижестоящего уровня кооперативной системы:

- с крупными торговыми сетями по вопросам поставки сельскохозяйственной продукции;

- с районными фермерскими ассоциациями по вопросам снабженческо-сбытовой деятельности, поставкам сельскохозяйственной продукции и сырья, формирования финансово-экономической инфраструктуры малого агробизнеса;

- с районными потребительскими обществами Центросоюза России по вопросам совместной организации ярмарок, предоставления мест на оптовых и розничных рынках и переработки сельскохозяйственной продукции;

- с крупными агропромышленными организациями и торговыми сетями по вопросам поставки сырья, готовой продукции, заготовительной деятельности [1].

Развитие сельскохозяйственной потребительской кооперации малых сельскохозяйственных организаций создаст условия для роста объемов производимой продукции, а за счет этого на каждую дополнительно произведенную единицу продукции будет меньше постоянных затрат. При мелкотоварном производстве сельскохозяйственные организации, не имея собственных каналов сбыта произведенной продукции, вынуждены продавать ее по заниженным ценам, которые не окупают издержки.

Главная цель государственного регулирования процессов кооперации и интеграции в агропромышленном производстве состоит в реализации мероприятий, направленных на развитие сельскохозяйственной потребительской кооперации и повышение рентабельности малых сельскохозяйственных организаций, однако основной механизм будет осуществляться через приоритетную государственную поддержку кооперативов, объединяющих малые формы хозяйствования, субсидирование части процентных ставок по кредитам, выданным банком кооперативам, лизинговых платежах, содействие в сбыте произведенной продукции на внутреннем рынке [1].

Учитывая сложившуюся ситуацию, можно предложить методику более эффективной государственной поддержки производителей сельскохозяйственного сырья

в зависимости от использования ресурсного потенциала.

Для этого вначале определяем эффективность использования потенциала животных.

$$\Theta_{пжi} = \frac{\Pi}{\Phi_{в}},$$

где $\Theta_{пжi}$ – эффективность использования потенциала животных; Π – средняя продуктивность коров в i -м хозяйстве; $\Phi_{в}$ – фондовооруженность, тыс. руб./чел.

Далее определяем наилучшее по данному показателю хозяйство:

$$\Theta_{пжi} \rightarrow \max.$$

Хозяйства, выделенные как лучшие, – эталоны для предоставления субвенций. Они будут получать максимальную сумму выплат. Остальные хозяйства будут получать субвенции пропорционально коэффициенту эффективности, который можно определить по формуле

$$КЭ_{пжi} = \frac{\Theta_{пжi}}{\Theta_{пж(\max)}},$$

где $\Theta_{пж(\max)}$ – максимальное значение показателя эффективности использования потенциала в группе хозяйств.

Далее определяем относительные коэффициенты эффективности государственной поддержки:

$$КЭ_{гпi} = \frac{КЭ_{пжi}}{\sum_{i=1}^n КЭ_{гпi}},$$

где $КЭ_{гпi}$ – коэффициент эффективности государственной поддержки.

В заключение производится расчет размера дотаций по хозяйствам:

$$Д_{xi} = КЭ_{гпi} \cdot РД_0 \cdot \frac{H_i}{\sum_{i=1}^n ВП_i},$$

где $Д_{xi}$ – размер дотаций по хозяйствам, млн руб.; $РД_0$ – общий размер достаточного регионального фонда поддержки, млн руб.; H_i – надой молока в i -м хозяйстве, т; $ВП_i$ – суммарный объем надоенного молока, т [4].

Предложенная методика позволит на региональном уровне обосновать размер дотаций производителям сельскохозяйственного сырья в муниципальных районных образованиях. На районных уровнях – обосновать размер дотаций по каждому хозяйству и определить размеры субвенций в разрезе хозяйств. На наш взгляд, непосредственная поддержка хозяйств позволит не только стимулировать повышение эффективности

использования ресурсного потенциала, увеличение объемов производства сырья, но и приведет к концентрации ресурсов в руках эффективных пользователей, что в общем скажется на развитии и укреплении межхозяйственных связей в регионе.

Реализация мероприятий направлена на стимулирование глав крестьянских (фермерских) хозяйств, индивидуальных предпринимателей, руководителей малых сельскохозяйственных организаций к созданию сельскохозяйственных потребительских кооперативов.

Таким образом, в межхозяйственных связях могут участвовать сельские жители, ведущие личное подсобное хозяйство.

Экономическая целесообразность государственной поддержки по стимулированию создания сельскохозяйственных потребительских кооперативов определяется расширением рынка сбыта производимой продукции. Крестьянские (фермерские) хозяйства, войдя в такую структуру, получают возможность государственной поддержки в сбыте всей произведенной продукции, получают финансовую помощь и поддержку, а значит, появляются условия расширенного воспроизводства и получения большей прибыли. Крестьянские (фермерские) хозяйства индивидуальные предприниматели, малые сельскохозяйственные организации, а также личные подсобные хозяйства, осуществляют паевые взносы и получают возможность участия в распределении прибыли от реализованной продукции, происходит усиление партнерских и деловых связей.

Таким образом, деятельность сельскохозяйственных потребительских кооперативов направлена, с одной стороны, на использование преимуществ сельскохозяйственной кооперации, наиболее подходящей условиям рыночных отношений, а с другой стороны, возникает необходимость развития межхозяйственных связей организаций АПК для повышения их финансовой устойчивости и использования эффекта экономии затрат (эффект масштаба).

Следовательно, расширение региональных межхозяйственных связей обеспечит снижение коммерческих и финансовых рисков, упорядочит среду экономических взаимодействий хозяйствующих субъектов, делая ее открытой

для укрупнения капиталов, что позволяет повысить конкурентоспособность регионального аграрного сектора.

Список литературы

1. Бурковский П.В. Направления совершенствования государственного регулирования развития агропромышленного комплекса (по материалам Краснодарского края): дис. ... канд. эконом. наук. – Краснодар, 2014. – С. 120–124.
2. Саенко И.И. Межхозяйственные связи как фактор роста конкурентоспособности аграрного сектора региона // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования. Международная научно-практическая конференция (Тамбов, 31 августа 2013 г.). – Тамбов, 2013. – С. 100–101.
3. Тубалец А.А. Экономические проблемы развития государственного регулирования малых форм хозяйствования в сельском хозяйстве (по материалам Краснодарского края): автореф. дис. ... канд. эконом. наук. – Краснодар, 2014. – 22 с.
4. Тимонова И.И. Организационно-методические проблемы формирования и функционирования региональных молочно-продуктовых подкомплексов (на материалах Ставропольского края) дис. ... канд. эконом. наук. – Ставрополь, 2009. – С. 76–85.
5. Тимонова И.И. Межхозяйственная кооперация, как условие устойчивого развития предприятий АПК // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – № 6. – С. 76–86.

References

1. Burkovskij P.V. Napravlenija sovershenstvovaniya gosudarstvennogo regulirovanija razvitija agropromyshlennogo kompleksa (po materialam Krasnodarskogo kraja): dis. ... kand. jekonom, nauk. Krasnodar, 2014. pp. 120–124.
2. Saenko I.I. Mezhhozjajstvennye svjazj kak faktor rosta konkurentosposobnosti agrarnogo sektora regiona // Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovanija. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija (Tambov, 31 avgusta 2013 g.). Tambov, 2013. pp. 100–101.
3. Tubalec A.A. Jekonomicheskie problemy razvitija gosudarstvennogo regulirovanija malyh form hozjajstvovanija v selskom hozjajstve (po materialam Krasnodarskogo kraja): avtoref. dis. ... kand. jekonom, nauk. Krasnodar. 2014. 22 p.
4. Timonova I.I. Organizacionno-metodicheskie problemy formirovanija i funkcionirovanija regionalnyh molochno-produktovyh podkompleksov (na materialah Stavropolskogo kraja) dis. ... kand. jekonom, nauk. Stavropol. 2009. pp. 76–85.
5. Timonova I.I. Mezhhozjajstvennaja kooperacija, kak uslovie ustojchivogo razvitija predpriyatij APK // Zhurnal nauchnyh publikacij aspirantov i doktorantov. 2008. no. 6. pp. 76–86.

Рецензенты:

Иванова Н.Е., д.э.н., доцент, зав. кафедрой финансов, учета и анализа, ЧОУ ВПО «Северо-Кавказский институт бизнеса, инженерных и информационных технологий», г. Армавир;

Моисеев В.В., д.э.н., профессор кафедры управления и маркетинга, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», г. Краснодар.

УДК 69.003.12

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭТАЖНОСТИ И ПЛОЩАДИ ЗАСТРОЙКИ НА СМЕТНУЮ СТОИМОСТЬ ЖИЛЬЯ ПРИ УКРУПНЕННЫХ РАСЧЕТАХ

Сайфутдинова Р.В.

ООО «Компания «Востсибуголь», Иркутск, e-mail: raisavi@sibnet.ru

Проведен анализ существующих методов учета влияния этажности и площади застройки на сметную стоимость зданий при укрупненных расчетах. Предложено выражение, позволяющее наиболее точно оценить воздействие рассматриваемых параметров. Выделены основные направления дифференцирования конструктивных элементов по принципу совместного или раздельного влияния рассматриваемых параметров на сметную стоимость. Представлен в качестве примера анализ стоимости устройства лестниц и лифтов. Выявлены общие закономерности и ценообразующие факторы рассмотренного оборудования и конструктивных элементов. Предложены формулы определения стоимости строительства лестниц и монтажа лифтов в жилых домах. Рассчитаны укрупненные показатели стоимости рассмотренных конструктивных элементов, а также определены величины поправочных коэффициентов. Полученные выражения, а также данные графиков можно применять на практике для укрупненной оценки стоимости лестниц и лифтов в жилых домах на самых ранних стадиях инвестиционно-строительного процесса.

Ключевые слова: предварительные сметные расчеты, ранние стадии инвестирования, укрупненные сметные нормы, жилищное строительство

THE ASSESSMENT EFFECTS ON PROVISIONAL ESTIMATE BY NUMBER OF STOREYS AND HOUSE AREA IN DOMESTIC HOUSING

Sayfutdinova R.V.

Vostsibugol Company Ltd, Irkutsk, e-mail: raisavi@sibnet.ru

The author analyses methods to determine effects on provisional estimate by number of storeys and house area. She offers formula for correct assess effects by concerned parameters. The general ways were defined for differentiation of structural elements of the building thanks of the principle joint or separately effect on estimate by concerned parameters. As an example the costs of construction stairwells and assembling lifts were analyzed. The author detects common regularities and setting price factors for each of those structural elements of the building. She also offers formulas to estimate those structural elements. The author has calculated aggregative estimate norms for lifts and stairwells and coefficients for correction. The formulas and diagrams may be used in practice for provisional estimate construction stairwells and assembling lifts in multistorey apartment houses in the early stages of investing.

Keywords: provisional estimate, early stages of investing, aggregative estimate norms, housing construction

Из всех параметров жилого дома наиболее значимым является этажность, так как это основной критерий типологии жилой недвижимости. С точки зрения экономики градостроительства этажность существенно влияет на стоимость возведения и эксплуатации не только самого жилья, но и всей обслуживающей инфраструктуры: инженерных сетей и сооружений, дорог, благоустройства территории и социально-бытовых объектов. При этом различается не только величина затрат, но и структура стоимости одного квадратного метра в домах различной этажности.

Далее нами выделены варианты учета влияния этажности на стоимость строительства здания $C_{зд}$ при укрупненных расчетах:

1. Использование укрупненных показателей стоимости строительства здания, дифференцированных по этажности;

$$C_{зд} = S_{общ} \cdot \Pi_{зд}^{диф}, \quad (1)$$

где $S_{общ}$ – общая площадь квартир жилого дома; $\Pi_{зд}^{диф}$ – укрупненный показатель стоимости строительства здания определенной этажности с известным уровнем потребительских свойств.

2. Применение поправочных коэффициентов к укрупненным показателям в зависимости от этажности;

$$C_{зд} = S_{общ} \cdot \Pi_{зд}^{тип} \cdot K_{эт}, \quad (2)$$

где $\Pi_{зд}^{тип}$ – укрупненный показатель стоимости возведения здания определенного типа; $K_{эт}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние этажности.

3. Раздельное определение стоимости надземной и подземной части;

$$C_{зд} = S_{застр} \cdot \Pi_{подзем}^{тип} + S_{застр} \cdot \Pi_{эт}^{тип} \cdot n_{эт}, \quad (3)$$

где $S_{застр}$ – площадь застройки жилого дома; $\Pi_{подзем}^{тип}$ – укрупненный показатель стоимости подземной части здания; $\Pi_{эт}^{тип}$ – укрупненный показатель стоимости строительства

типового этажа здания с известным уровнем потребительских свойств.

4. Применение укрупненных показателей стоимости конструктивных элементов и видов работ на единицу физического объема здания.

Предлагаемое нами выражение (4) позволяет учесть влияние этажности $n_{\text{эт}}$ здания и площади застройки $S_{\text{застр}}$ непосредственно.

$$C_{\text{зд}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{застр}} \cdot n_{\text{эт}} \cdot \Pi_{\text{кэ}}^i \cdot k_i + \sum_{j=1}^m S_{\text{застр}} \cdot \Pi_{\text{кэ}}^j \cdot k_j + \sum_{p=1}^k n_{\text{эт}} \cdot \Pi_{\text{кэ}}^p \cdot k_p, \quad (4)$$

где $\Pi_{\text{кэ}}^i$ – укрупненный показатель стоимости конструктивных элементов, на стоимость которых одновременно влияют и площадь застройки, и этажность здания. К данной группе можно отнести фундаменты, стены и каркас здания, перегородки, перекрытия, внутреннюю отделку, наружную отделку, полы, проемы и витражи, прочие работы, инженерные системы.

$\Pi_{\text{кэ}}^j$ – укрупненный показатель стоимости конструктивных элементов, на стоимость которых влияет площадь застройки здания. Представителями данной группы являются кровля, стены подвала.

$\Pi_{\text{кэ}}^p$ – укрупненный показатель стоимости конструктивных элементов, на стоимость которых преимущественно влияет этажность, это лестницы, лифты, мусоропровод. Увеличение площади застройки в зависимости от диапазона значений может вызывать кратное увеличение количества лифтов и лестниц на этаж, поэтому влияние площади можно учитывать опосредованно через применение поправочных коэффициентов.

k_p, k_j, k_i – поправочные коэффициенты для соответствующей группы конструктивных элементов, учитывающие различия в их исполнении.

Выбор того или иного способа расчета стоимости строительства определяется стадией проектирования, количеством исходных данных и требуемой точностью расчета [1]. Первые три способа предполагают использование меньшего количества исходных данных, являются более укрупненными и, соответственно, обеспечивают меньшую точность получаемого результата [4]. На наш взгляд, достаточно удобно применение предлагаемого нами способа, когда при необходимости можно варьировать решения

конструктивных элементов здания [3]. Однако для этого понадобится чуть больше исходных данных. В любом случае укрупненная оценка стоимости жилья послужит полезным инструментом технико-экономического обоснования этажности жилой застройки.

Специфику оценки влияния этажности на сметную стоимость предлагаем рассмотреть на примере возведения лестниц и установки лифтов. Количество и грузоподъемность лифтов назначается в зависимости от этажности и площади квартир по действующим строительным нормам [5]. Согласно их требованиям лифт необходимо предусматривать в жилых зданиях с этажностью шесть этажей и выше.

Нами получены значения стоимости устройства электрических лифтов различной грузоподъемности в жилых домах этажностью от 6 до 16 для условий г. Иркутска (рисунок). Расчеты произведены по данным ведущих предприятий, оказывающих услуги по монтажу лифтового хозяйства «под ключ». Стоимостные показатели приведены к базовому уровню цен с помощью соответствующих индексов. Количество остановок принято равным величине этажности. Стоимостные показатели учитывают помимо прямых затрат сметную прибыль и накладные расходы, стоимость необходимого оборудования и комплектующих¹, а также доставку и погрузочно-разгрузочные работы. Резерв средств на непредвиденные расходы, налог на добавленную стоимость и другие лимитированные затраты показателями не учтены.

При определении стоимости устройства на начальной стадии проектирования, когда уже определено количество и грузоподъемность лифтов, можно пользоваться данными графиков. На стадии предпроектных разработок удобнее будет применять формулы. Перед тем как получить достаточно компактное и удобное выражение, нами было изучено влияние этажности на сметную стоимость устройства лифтов. Как видно из графиков, стоимостные показатели находятся в прямо пропорциональной зависимости от этажности по всем рассмотренным видам лифтов. При этом стоимость устройства лифтов грузоподъемностью 1000 и 630 кг растет с увеличением этажности в чуть большей мере, чем при грузоподъемности 400 кг.

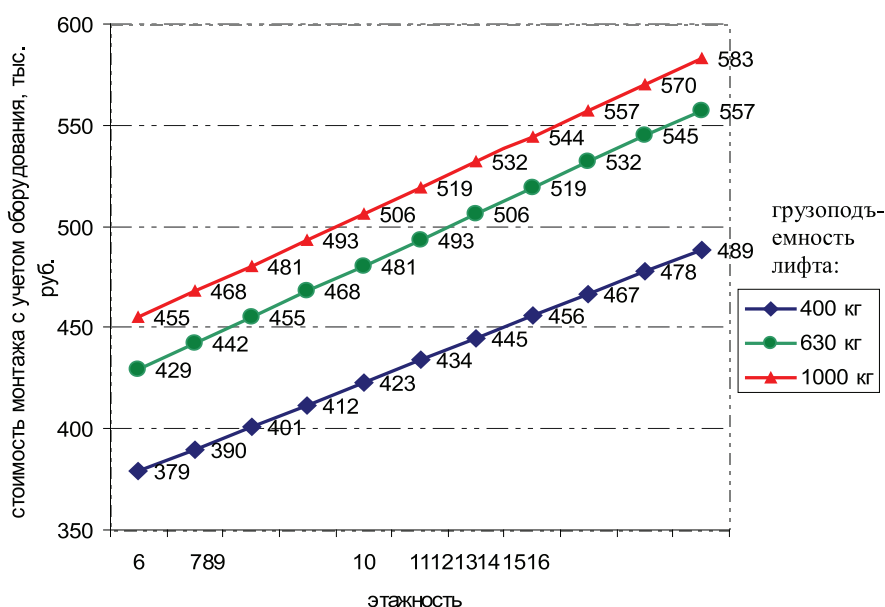
В общем виде стоимость устройства лифтов в жилом доме на стадии препроектных расчетов мы рекомендуем определять по формуле

$$C_{\text{лфз}} = C_{\text{лф6}}^{1000} \cdot K_{\text{лф}} \cdot \frac{n_{\text{лф}} + m_{\text{лф}}}{n + m} + (C_{\text{лф3}}^{400} \cdot n_{\text{лф}} + C_{\text{лф3}}^{1000} \cdot m_{\text{лф}}) (n_3 - 6), \quad (5)$$

¹ Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации, (МДС 81-35.2004) (Госстрой России) Москва, 2004.

где $C_{\text{лфз}}$ – стоимость устройства лифтов в целом на жилой дом; $C_{\text{лф6}}^{1000}$ – стоимость устройства лифта грузоподъемностью 1000 кг в шестиэтажном жилом доме; $K_{\text{лф}}$ – коэффициент к стоимости устройства лифтов в целом на здание; $n_{\text{лф}}$, $m_{\text{лф}}$ – количество лифтов грузоподъемностью 400 и 1000 (630) кг на здание; n , m – количество лифтов грузоподъемностью 400 и 1000 (630) кг по табл. 1; $C_{\text{лфз}}^{400}$, $C_{\text{лфз}}^{1000}$ – приращение стоимости устройства лифта на каждый этаж при грузоподъемности 400 и 1000 (630) кг² соответственно; n_z – этажность здания. В тех случаях, когда лифт не имеет остановки на последнем этаже, принимается пониженное на единицу значение.

В случае превышения поэтажной площади свыше величин, указанных в табл. 1, количество устанавливаемых лифтов увеличивается кратно установленной норме. Все проведенные нами расчеты справедливы при высоте этажа 2,8 м, для жилых домов с другой высотой этажа необходимо вводить соответствующую поправку. За основу нами принят вариант установки лифта грузоподъемностью 1000 кг, при значении этой характеристики 630 кг поправочный коэффициент принимается равным 0,95, при 400 кг – 0,84. Удорожание, связанное с использованием зарубежного лифтового оборудования, колеблется в диапазоне значений 30–33 % к стоимости соответствующего отечественного.



Стоимость устройства лифтов отечественного производства в жилых домах для условий г. Иркутска (уровень цен 01.01.2000 г.)

Таблица 1

Данные для подбора количества и грузоподъемности лифтов жилых домов³ при укрупненных расчетах

Этажность	Наибольшая поэтажная площадь квартир, м ²	Грузоподъемность лифта, кг	Количество лифтов данного типа (n, m)	Коэффициент к стоимости устройства лифтов в целом на здание ($K_{\text{лф}}$)
6–9	600	1000 (630)	1	1 (0,95)
10–12	600	1000 (630)	1	1,84 (1,79)
		400	1	
13–17	450	1000 (630)	1	1,84 (1,79)
		400	1	

² Разница между $C_{\text{лфз}}^{1000}$ и $C_{\text{лфз}}^{630}$ не превышает 0,5 %, поэтому данные величины можно приравнять.

³ Таблица составлена по минимальным требованиям количества лифтов СП 54.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные» (Приложение Г).

Погрешность укрупненных расчетов стоимости устройства лифтов в жилых домах по предложенным нами графикам и формуле не превышает 5–10 % по сравнению с поэтапными методами расчета. Это является хорошим показателем точности, так как позволяет уложиться в рекомендуемый резерв средств на непредвиденные расходы 10 % [2].

По данным организаций, специализирующихся на монтаже лифтовых систем, на сметную стоимость помимо этажности также влияют такие факторы, как габариты кабины и шахты, назначение и тип здания, наличие и расположение машинного отделения [5].

Для изучения влияния этажности на стоимость устройства лестниц нами были проанализированы характеристики 15 жилых домов, построенных в г. Иркутске. В рассмотренных нами домах подъездные лестницы выполнены из сборных желе-

зобетонных лестничных маршей с металлическим ограждением. При этом на сметную стоимость устройства лестниц в наибольшей степени влияет этажность жилого дома и высота этажа. Площадь застройки по аналогии с устройством лифтов обуславливает количество лестниц. Данные по объектам-представителям приведены в табл. 2.

Показатели единичной стоимости учитывают также стоимость металлических лестниц, обеспечивающих выход на кровлю и эвакуационные выходы. Стоимость лестниц зависит вдобавок от наличия эксплуатируемого цокольного этажа, поскольку оно предполагает устройство отдельных входов и лестниц к ним, соответственно при этом возникает удорожание лестниц из расчета на здание в среднем на 20–30 %. Помимо этажности немаловажной является такая архитектурно-планировочная характеристика, как размещение двухуровневых

Таблица 2

Принимаемые показатели по объектам-представителям для исследования стоимости строительства лестниц жилых домов (уровень цен 01.01.2000)

Объект-представитель	Сметная стоимость лестниц, руб.	Площадь застройки, м ²	Этажность	Показатель единичной стоимости устройства лестниц, руб./эт.	Примечания
1	149511,85	314,72	7	21358,84	
2	155193,11	419,15	7	22170,44	
3	171029,62	411,80	9	19003,29	
4	90900,17	397,90	6	18180,03	Наличие эксплуатируемого цокольного этажа и двухуровневых квартир на последних этажах
5	209070,40	441,30	9	23230,04	Наличие эксплуатируемого цокольного этажа
6	166555,63	355,65	9	18506,18	
7	56717,92	299,00	5	11343,58	
8	83680,24	417,53	5	16736,05	Наличие эксплуатируемого цокольного этажа
9	145049,69	636,48	6	24469,37	Наличие эксплуатируемого цокольного этажа, двухподъездная блок-секция
10	195754,94	714,48	8	24174,95	Наличие эксплуатируемого цокольного этажа, двухподъездная блок-секция
11	224220,43	486,75	10	22422,04	
12	170248,45	462,60	10	17024,84	
13	96368,39	469,00	6	19273,68	Наличие двухуровневых квартир на последних этажах
14	65026,76	414,12	5	16256,69	Наличие двухуровневых квартир на последних этажах
15	96415,73	320,83	6	16069,29	

квартир на последних этажах. В этих случаях при расчетах показателя единичной стоимости устройства лестниц мы принимали этажность за минус один этаж⁴. Среди объектов-представителей большинство зданий оборудовано одной подъездной лестницей, исключением являются те, что значатся под номерами 9 и 10, они запроектированы двухподъездными. Для этих объектов при определении единичного стоимостного показателя затраты на возведение лестниц разделены не только на этажность, но и на количество подъездов. Для того чтобы определить, как влияет высота этажа на стоимость устройства лестниц, мы рекомендуем расширить выборку объектов-представителей. Значительно меньше среднего уровня стоимость лестниц зафиксирована для объекта-представителя № 7. Причина удешевления нами не установлена, поэтому к дальнейшим расчетам данный стоимостной показатель не принимался. Средняя стоимость лестниц для жилых домов без эксплуатируемого цокольного этажа составила 19 120,59 руб. на этаж.

Обобщенно выражение по стоимости устройства лестниц можно представить в следующем виде:

$$C_{\text{лсз}} = C_{\text{лсэ}} \cdot n_{\text{эт}} \cdot n_{\text{лс}} \cdot k_{\text{вп}} \cdot k_{\text{нз}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{лсз}}$ – стоимость устройства лестниц в целом на жилой дом; $C_{\text{лсэ}}$ – стоимость устройства лестниц на этаж; $n_{\text{лс}}$ – количество подъездных лестниц в жилом доме; $k_{\text{вп}}$ – коэффициент, учитывающий наличие встроенных помещений; $k_{\text{нз}}$ – коэффициент, необходимый в случае отличия высоты этажа оцениваемого объекта от принятой в расчетах 2,8 м.

Итак, нами рассмотрено влияние этажности на стоимость конструктивных элементов на примере устройства лестниц и лифтов в многоэтажных жилых домах. Получены выражения для укрупненных расчетов стоимости указанных устройств и конструктивных элементов. Данные выражения можно применять даже на самых ранних стадиях проектирования, а также на этапе формирования инвестиционного замысла. Достаточно знать этажность жилого дома, его площадь застройки и высоту этажа.

⁴ В данном случае железобетонная лестница не доводится до последнего перекрытия, а внутренние деревянные лестницы вызывают незначительное удорожание.

Список литературы

1. Бренер А. В. Ценообразование, как фактор развития девелоперской деятельности коммерческой недвижимости в инвестиционно-строительной сфере / Экономика, управление, финансы: материалы междунар. науч. конф. (г. Пермь, июнь 2011 г.). – Пермь: Меркурий, 2011. – С. 18–22.
2. Дедюхина Е.С., Ямщикова И.В. Анализ методов определения стоимости реконструкции и капитального ремонта жилых зданий // Актуальные проблемы в инвестиционно-строительной сфере, недвижимости и жилищно-коммунальном комплексе: материалы международной научно-практической конференции – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007 – С. 29–32.
3. Демешик Р.В. Развитие методологии оценки инвестиционной емкости строительства жилья // Вестник ИрГТУ № 5 (45) – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – С. 293–298.
4. Резниченко В.С., Ленинцев Н.Н. Система удельных показателей в расчетах стоимости и планировании капитального строительства: справочное пособие с методиками и примерами расчетов. – М.: Слово, 2006. – 485 с.
5. Монтаж и установка лифтов. <http://lift-gid.ru/passazhirskie/montazh-i-ustanovka-lifto.html> (дата обращения 2 февраля 2015 г.)

References

1. Berner A.V. Cenoobrazovanie, kak factor razvitiya developerskoi deyatel'nosti kommercheskoi nedvizhimosti v investitsionno-stroitel'noi sfere. (Pricing as a factor to make progress development activities of commercial property in investment and construction sphere) *Materiali mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii «Ekonomika, upravlenie, finansi»* [materials of scientific conference "Economy, management, finance"], Perm, June 2011, pp. 18–22.
2. Dedyuhina E.S., Iamschikova I.V. Analiz metodov opredeleniya stoimosti rekonstrukcii i kapitalnoi remont (The analysis methods of estimate reconstruction and complete overhaul). *Aktual'nye problemi v investitsionno-stroitel'noi sfere, nedvizhimosti b zhilishchno-kommunalnom komplekse* [materials of scientific-practical conference «Actual problems in investment and construction sphere, real property and housing and communal services»], Irkutsk, 2007, pp. 29–32.
3. Demeschik R.V. Development of the methodology to assess investment capacity of housing construction. *Vestnik Irkutsk State Technical University*, Irkutsk, 2010, no. 5(45), pp. 293–298.
4. Reznichenko V.S., Lenincev N.N. Sistema udel'nykh pokazatelei v raschetakh stoimosti i planirovaniy kapital'nogo stroitel'stva (System of specific rates is using for estimate and planning capital development), Moscow, 2006, 485 p.
5. Montazh i ustanovka liftoy (The assembling lifts). <http://lift-gid.ru/passazhirskie/montazh-i-ustanovka-lifto.html> (accessed 2 February 2015)

Рецензенты:

Дзюба С.А., д.э.н., профессор кафедры «Финансы и кредит», ФГБОУ ВО ИрНТУ, г. Иркутск;

Подвербный В.А., д.т.н., профессор кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», ФГБОУ ВПО ИрГУПС, г. Иркутск.

УДК 338.23

ТРАНСАКЦИОННЫЕ ИЗДЕРЖКИ ПАЦИЕНТОВ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЯЗАТЕЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ

Школьник Е.В.*Чебоксарский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации,
Чебоксары, e-mail: eshkolnik@rambler.ru*

Проблема улучшения качества медицинского обслуживания населения при формировании национальной системы организации здравоохранения в России решается посредством создания и совершенствования института страховой медицины, который помимо выполнения своей главной функции – сохранения здоровья населения, должен содействовать упорядочению функционирования рынка медицинских услуг и минимизации транзакционных издержек всех его субъектов, в том числе пациентов. Будучи потребителями бесплатных медицинских услуг в системе обязательного медицинского страхования, пациенты получают не только выгоды, но несут и издержки, большую долю которых составляют транзакционные издержки. В связи с этим в статье основное внимание уделено выявлению транзакционных издержек пациентов и причин их возникновения. На основе анализа системы организации медицинской помощи определены источники транзакционных издержек пациентов как субъектов спроса на рынке медицинских услуг, оказываемых за счет средств фондов обязательного медицинского страхования. Существующие согласно общепринятой классификации виды транзакционных издержек, а именно издержки поиска информации и выявления альтернатив, издержки ведения переговоров и заключения контрактов, издержки измерения, издержки спецификации и защиты прав собственности, издержки оппортунистического поведения, подробно охарактеризованные в статье применительно к пациентам, дополнены одним новым видом – издержками регламентации, возникающими вследствие излишнего регламентирования деятельности медицинских организаций и действий пациентов при получении медицинских услуг государственным институтом обязательного медицинского страхования. Результаты исследования и выводы могут быть учтены при разработке направлений совершенствования системы организации здравоохранения и обязательного медицинского страхования в России.

Ключевые слова: медицинская услуга, рынок медицинских услуг, качество медицинских услуг, система обязательного медицинского страхования, транзакционные издержки, классификация видов транзакционных издержек пациентов, издержки регламентации

TRANSACTION COSTS OF PATIENTS IN THE SYSTEM OF MANDATORY HEALTH INSURANCE

Shkolnik E.V.*Cheboksary cooperative institute (branch), Russian University of Cooperation,
Cheboksary, e-mail: eshkolnik@rambler.ru*

The problem of improving the quality of medical care in the formation of a national system of health care organization in Russia is solved through the establishment and improvement of the institute of health insurance. In addition to its main function – to preserve the health of the population, it should help to streamline the functioning of the health care market and minimize the transaction costs of all his subjects, including patients. As consumers of free medical services in the health insurance system, patients receive not only the benefits but also bear the costs, a most of which are transaction costs. In this regard, the article focuses on identification of the transaction costs of patients and their causes. The sources of transaction costs of patients as subjects of demand in the market of medical services, provided at the expense of mandatory health insurance funds are identified basing on the analysis of medical aid organization. According to the existing standard transaction costs classification there are the costs of information search and identify alternatives, the cost of negotiating and contracting, cost measurement, cost specification and protection of property rights, the costs of opportunistic behavior, described in detail in the article in relation to patients. We also supplemented it by a new type of – costs of regulation arising from the excessive regulation of medical organizations and actions of patients in obtaining health care institute of mandatory health insurance. Results and conclusions can be taken into account in the development of ways of improving the system of organization of health care and mandatory health insurance in Russia.

Keywords: medical services, health care market, quality of health services, mandatory health insurance system, transaction costs, transaction costs of patients classification, regulatory costs

Объективная необходимость реформирования системы российского здравоохранения, происходящего методом «проб и ошибок», привела к созданию экономических и правовых институтов, призванных, с одной стороны, сохранять здоровье и повышать качество медицинского обслуживания в целях обеспечения достаточного уровня жизни населения, а с другой сто-

роны, обеспечивать порядок и устранять неопределенность в функционировании рынка медицинских услуг. Одним из показателей эффективности экономических институтов является величина транзакционных издержек субъектов рынка. В экономической литературе проводится анализ транзакционных издержек субъектов предложения на рынке медицинских услуг [3, 6],

но недостаточно исследованной остается проблема транзакционных издержек пациентов как субъектов спроса, характеристика различных видов которых позволит выявить совокупность факторов, на них влияющих, в том числе связанных с несовершенством современной системы обязательного медицинского страхования (далее – ОМС).

В результате перехода от страховой и платной медицины в России начал формироваться рынок медицинских услуг как результатов полезной деятельности медицинских учреждений, выражающихся в сохранении и улучшении здоровья пациента.

Субъектами рынка медицинских услуг являются продавцы, посредники и покупатели. Продавцы медицинских услуг – это организации различных организационно-правовых форм и форм собственности системы государственного, муниципального и частного здравоохранения, оказывающие как услуги по системе ОМС, так и платные услуги. На стороне этих продавцов лежит предложение взаимодополняемых и взаимозаменяемых, то есть конкурентных медицинских услуг. Конкуренция между продавцами оказывает влияние не только на предложение услуг и их цены, но и на спрос на медицинские услуги, так как особенностью рынка медицинских услуг является то обстоятельство, что потребители имеют слабое представление о необходимых им услугах.

Субъектами спроса, то есть покупателями на рынке медицинских услуг, являются пациенты, работодателями – страхователи и государство. Пациент является субъектом рыночного спроса при приобретении платных услуг и бесплатных услуг в системе ОМС, ибо в зависимости от организации отношений между покупателем (пациентом) и производителем структура российского рынка медицинских услуг состоит из рынка медицинских услуг по системе ОМС и рынка платных медицинских услуг, в том числе получаемых по системе добровольного страхования.

Бесплатные услуги – это услуги, оказываемые медицинскими организациями за счет средств соответствующего бюджета, страховых взносов и других поступлений в виде финансирования федеральных программ охраны и укрепления здоровья населения.

Посредниками между продавцами и покупателями на рынке медицинских услуг являются страховые организации, действующие на основании лицензии, выданной в порядке, установленном законодательством РФ.

В мире существуют сотни систем медицинского или социального страхования, дающие возможность получать бесплатную помощь. Функционирующую в настоящее время в России одноканальную модель финансирования здравоохранения за счет целевых взносов трудящихся, работодателей и субсидий государства можно назвать бюджетно-страховой [5]. Денежные средства во все лечебно-профилактические учреждения государственной и муниципальной формы собственности поступают через Фонды обязательного медицинского страхования (далее – ФОМС). Из средств бюджета финансируется лишь закупка дорогостоящего оборудования и капитальный ремонт медицинских учреждений. Доходы ФОМС формируются за счет страховых взносов работодателей. Размеры страховых взносов планируются исходя из общегосударственных прогнозируемых расходов в расчете на все категории застрахованного населения и не связаны с объемом медицинской помощи, которую застрахованный может получить [10].

С одной стороны, чем больше фонд заработной платы, тем большую в абсолютном значении сумму страховых взносов перечисляют работодатели в ФОМС и тем больше возможностей у ФОМС для финансирования деятельности медицинских учреждений в целях оказания медицинских услуг. С другой стороны, чем больше отчисления работодателей в ФОМС, тем меньше возможностей для увеличения заработной платы работникам. Таким образом, существует прямая зависимость между динамикой заработной платы и динамикой страховых взносов в ФОМС, и обратная зависимость между динамикой страховых взносов и динамикой заработной платы. Поэтому застрахованные пациенты, несущие бремя страховых взносов, являются полноправными участниками сделок – субъектами спроса на рынке медицинских услуг, получающими выгоды, но и несущими издержки, в том числе транзакционные. Однако в настоящее время проблема транзакционных издержек пациентов и их видов остается неизученной, что свидетельствует об актуальности направления исследования в данной статье.

Наиболее значим анализ транзакционных издержек, возникающих у пациентов как потребителей услуг, представляющимися бесплатными, в рамках ОМС. Согласно общепринятой классификации выделяются: издержки поиска информации и выявления альтернатив, издержки ведения переговоров и заключения контрактов, издержки измерения, издержки спецификации и за-

щиты прав собственности, издержки оппортунистического поведения и др.

Каждый из перечисленных видов издержек применительно к пациентам имеет свои особенности, рассматриваемые далее.

Издержки поиска информации и выявления альтернатив. Как известно, одним из условий функционирования рыночной системы является индивидуальный выбор, когда принятие решения предполагает сопоставление различных альтернатив. Пациентам, принимающим решения при выборе медицинских услуг, альтернативы изначально не даны, так как они имеют недостаточную информацию о необходимых им лечебных и диагностических процедурах. Самая простая альтернатива для пациента в случае возникновения потребности в медицинской помощи – обратиться в то медицинское учреждение, к которому он прикреплен договором обязательного медицинского страхования по месту проживания или работы, и довериться медицинским работникам этого учреждения. Однако пациент не всегда может воспользоваться преимуществами системы медицинского страхования, целью которой является обеспечение пациентов специалистами. В отдельных же случаях пациенту нужен не просто врач определённой специальности, а врач с хорошей репутацией. Поэтому, если в прикрепленном медицинском учреждении, по мнению пациента, такого нет, он вынужден самостоятельно искать медицинские организации и медицинских работников, которые могут предложить ему альтернативные методы обследования и лечения. К сожалению, существующая система ОМС не предполагает подобного содействия в поиске специалистов по желанию и предпочтениям пациента. К тому же незнание пациентами границ между гарантированным объемом медицинской помощи и платными услугами приводит к тому, что люди вынуждены платить за то, что им положено получать бесплатно.

Издержки ведения переговоров и заключения контрактов пациентов в системе ОМС возникают вследствие ряда особенностей организации системы оказания медицинских услуг, когда для выбора медицинской организации и врача пациенту необходимо пройти растянутую во времени и сложную процедуру [2]. Эти издержки связаны также с тем, что для получения бесплатной оперативной помощи пациенты вынуждены выполнить предписанный Минздравом регламент, разработанный для плановой госпитализации. Этот регламент включает посещение множества специалистов и прохождение исследований, что

отнимает у пациента время и (или) деньги. И даже при выполнении всех условий пациенту может быть отказано в своевременной госпитализации из-за «очереди», отсутствия «койко-мест», квот на оказание медицинской помощи по Программе государственных гарантий. К тому же на практике нередки ситуации, когда очереди пациентов создаются искусственно, так как лечебное учреждение не в состоянии госпитализировать больного из-за ограниченного финансирования.

К издержкам заключения контрактов можно отнести также альтернативные издержки, связанные с достаточно продолжительным временем, затрачиваемым пациентом в ожидании приёмов специалистов, несмотря на действующий институт «записи» и так называемых «талонов», и с нервным перенапряжением. Сюда же относятся транспортные расходы, связанные с получением медицинской услуги не по месту жительства.

Издержки измерения – это дополнительные затраты, которые требуются пациенту для того, чтобы установить и оценить эффект или качество медицинской услуги. Следует заметить, что определение и измерение качества любых услуг вообще затруднено, а медицинских – особенно, ибо им присуща высокая степень неопределённости и риска. Поскольку медицинские услуги можно отнести к так называемым «доверительным благам», *качество которых сложно измерить и при покупке и в процессе их потребления, то проблема, связанная с издержками измерения этих благ, является особо сложной.* Часто эффект от медицинской услуги может проявиться лишь спустя продолжительный период времени после начала потребления. Кроме того, положительный результат медицинских услуг не всегда получает однозначную оценку как у различных пациентов, так и у различных специалистов.

Содействовать решению проблемы измерения качества медицинских услуг мог бы такой «институт доверия», как государственные стандарты лечения [8]. Предполагается, что пациенты должны им доверять, как, например, доверяют производителям, покупая колбасу, выпускаемую в соответствии с государственным стандартом, производство которой подвергается санитарным проверкам. Но пациент не может самостоятельно определить, выполнены ли предписанные стандарты и обеспечивают ли они желаемый им качественный результат, а может оценить лишь качество оказания вспомогательных услуг (улучшенное питание, комфортные палаты и т.п.).

На данный момент нет официальных критериев качества оказания медицинских услуг, а существуют только правовые нормы качества медицинской помощи, включающие совокупность характеристик, отражающих своевременность ее оказания, правильность выбора методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации при оказании медицинской помощи, степень достижения запланированного результата [1]. Из перечисленных норм последнюю можно считать показателем качества услуги, однако, на наш взгляд, понятие «запланированного результата» не раскрыто. Для пациента показателями качества медицинской услуги служат объективные и субъективные показатели его здоровья: полное излечение или ремиссия. По закону пациенту медицинским работником в доступной форме должна быть дана информация о целях, методах оказания медицинской помощи, связанном с ними риске, возможных вариантах медицинского вмешательства, о его последствиях, а также о предполагаемых результатах оказания медицинской помощи [1]. Но на практике медицинское учреждение относится к процедуре формально и без жестких требований пациентов не предоставляет им должной информации о плане обследования и лечения, возможных осложнениях и побочных эффектах. Это создает сложности пациенту в оценке качества услуги, которую он намеревается получить.

Если пациенту предложена какая-то медицинская услуга, например операция, он должен принять решение: соглашаться на неё или нет. Конечно, пациент может довериться врачу, зная его репутацию, и согласиться на операцию, не расходуя средств на консультации экспертов – других специалистов, на дополнительные исследования, на поиск отзывов в интернете, на опрос знакомых, на чтение специальной литературы. Но если специалист, предложивший медицинскую услугу, не вызывает доверия в силу каких-то причин, то пациенту придется потратить ресурсы (время и деньги) на вышеперечисленные действия. Этими затратами и будут определяться издержки измерения. Если же пациент выбирает контрагента с известной репутацией, то издержки измерения будут не столь высоки.

Следующий вид трансакционных издержек пациентов – издержки спецификации и защиты прав собственности. Пациенты как равноправные участники рынка медицинских услуг несут эти издержки в связи с тем, что вынуждены изучать нормативные акты, регламентирующие процесс оказания медицинских услуг и гарантии по оказанию медицинской помощи. Также этот вид из-

держек возникает тогда, когда пациентам приходится отстаивать свои права на лечение в выбранном ими медицинском учреждении и на получение определённого вида лечения, не предусмотренного государственными стандартами; на участие в обсуждении деталей сделки, в данном случае алгоритма обследования и лечения.

В случае неудовлетворенности оказанной медицинской услугой пациенты несут издержки по защите своих прав в медицинской организации, страховой организации, в суде, хотя сам институт страховой медицины призван уменьшить этот вид издержек, так как страховая организация является представителем пациентов.

Издержки оппортунистического поведения, пожалуй, имеют самую большую долю в общей величине трансакционных издержек пациентов и являются к тому же издержками, которые измерить легче, чем другие виды издержек. Оппортунистическое поведение заключается в стремлении получить одностороннюю выгоду за счет партнера, уклоняясь от соблюдения условий контракта [7].

Это касается и работодателей, и страхуемых пациентов, которые, будучи субъектами спроса на рынке медицинских услуг, провоцируют увеличение издержек оппортунистического поведения. Например, оппортунистическое поведение работодателей, которые, стремясь снизить свои издержки в виде страховых взносов, прибегают к схемам, уменьшающим фонд оплаты труда, приводит к уменьшению средств ФОМС и, следовательно, к сжатию программы государственных гарантий и уменьшению подушевого финансирования, от чего и несут издержки оппортунистического поведения пациенты. Во-вторых, некоторые пациенты, имея возможность бесплатного медицинского обслуживания в рамках ОМС, ходят к врачам чаще и требуют больше диагностических обследований и более сложного лечения, без которого могли бы обойтись, если бы платили за медицинские услуги из своего кармана. Избыточное потребление отдельных пациентов в долгосрочном периоде повлечет за собой более высокие ставки страховых взносов, что коснется всех потребителей в системе ОМС.

Для рынка медицинских услуг как «доверительных благ» характерно то, что информационное предложение и предложение самого товара исходят от одного и того же продавца, так как пациент обращается к врачу для постановки диагноза и лечения, что создает возможность предконтрактного

и постконтрактного оппортунистического поведения со стороны продавцов [9]. В системе частной медицины производители услуг, будучи заинтересованными в увеличении спроса на них, занимаются гипердиагностикой, зачастую выявляя у пациентов несуществующие недуги и предлагая их лечение. При оказании услуг в системе ОМС ситуация противоположная: в целях экономии средств и просто при их отсутствии план обследования и лечения сокращается, что снижает качество медицинской помощи и ставит под сомнение ее результат. И в том, и в другом случае предконтрактное оппортунистическое поведение продавца сказывается на величине транзакционных издержек пациента.

Примерами постконтрактного оппортунистического поведения продавца являются так называемые «отлынивание» и «вымогательство». В первом случае производитель медицинской услуги выполняет наложенные на него контрактом обязанности недобросовестно, создавая только видимость лечения или проводя его неправильно. К сожалению, такая ситуация нередка в нашем здравоохранении, что объясняется незаинтересованностью медработников ввиду низкой оплаты труда, недостаточной квалификацией, недостатком времени ввиду большой загруженности врачей, просто недобросовестностью. Вымогательство – также часто встречающийся вид оппортунистического поведения, когда производители медицинских услуг выставляют пациентам условия, предполагающие вознаграждение медицинскому работнику за ту услугу, которую он должен оказать бесплатно в системе ОМС и оплата которой заложена в его заработной плате.

Существующий на рынке медицинских услуг коммерческий институт медицинских представителей фармацевтических фирм создал условия для дополнительных заработков врачей за счет назначения пациентам конкретных, рекомендованных представителями фармацевтических фирм, препаратов. Нередко такие препараты имеют сравнительно дешевые и не менее эффективные аналоги. Поэтому издержки, которые в этом случае несут пациенты, следует относить к издержкам оппортунистического поведения продавца.

Характеристика транзакционных издержек пациентов дает возможность сделать вывод, что они достаточно разнообразны. Но существует ряд издержек пациентов, которые сложно отнести к одному из перечисленных пяти видов общепринятой классификации. Поэтому

предлагаем расширить классификацию за счет введения еще одного вида издержек – «издержек регламентации», возникающих у пациентов вследствие чрезмерного государственного регламентирования процессов оказания медицинских услуг, что отрицательно сказывается на системе здравоохранения.

К этим издержкам надо отнести, во-первых, издержки, возникающие вследствие строго установленных нормативов времени пребывания пациентов в стационаре. Некоторые пациенты выздоравливают раньше, чем полагается по установленным стандартам пребывания в стационаре, но вынуждены «терять там время», чтобы получить законный лист нетрудоспособности. А другие пациенты выписываются из стационара не выздоровевшими и вынуждены долечиваться, выходя на работу и затрачивая на лечение свои средства. В обеих ситуациях пациенты несут транзакционные издержки.

Во-вторых, затраты на платные услуги, возникающие в связи с тем, что установленные временные нормы приема в поликлиниках недостаточны для получения пациентами квалифицированной консультации или помощи, что вынуждает пациентов к необходимости обращения в частные медицинские организации, также относятся к издержкам стандартизации и организации.

В-третьих, утвержденные государством стандарты лечения также чреваты для пациентов транзакционными издержками. Дело в том, что течение болезни индивидуально, организм разных пациентов по-разному реагирует на лечение. Поэтому ограничение самостоятельности добросовестного и квалифицированного врача в выборе методов и средств лечения может быть опасно для здоровья пациента.

В-четвертых, медицинские услуги государственного здравоохранения зависят от принятых схем организации лечебно-диагностического процесса, отличаются жесткостью в ограничении возможностей выбора медицинских услуг как для их продавца, так и для покупателя-пациента, поэтому, несмотря на то, что желание пациента приобрести медицинские услуги в определенном медицинском учреждении законно, реализовать его сложно и затратно.

В-пятых, несмотря на то, что согласно программе государственных гарантий пациенты имеют право получить определенные виды медицинской помощи в ограниченные законом сроки, на практике эти сроки часто не соблюдаются. Что касается поликлинического приема, то такая

ситуация объясняется недостатком специалистов. А сложности со своевременным получением помощи, особенно оперативной, в стационаре, связаны с отставанием финансирования медицинских организаций от потребностей в нем. Вследствие этого в медицинских организациях создаются долговременные очереди на госпитализацию, что приносит пациентам моральные страдания, а иногда наносит вред физическому здоровью, ухудшая прогноз заболевания.

В-шестых, пациенты несут больше издержек в виде потраченного времени, чем выгод, в связи с необходимостью прохождения медосмотра работниками ряда специальностей, так как медосмотры проводятся формально.

Список литературы

1. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации: [от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ, в ред. от 31.12.2014 г.] // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2011. – № 48. – С. 6724.
2. Об утверждении Порядка выбора гражданином медицинской организации (за исключением случаев оказания скорой медицинской помощи) за пределами территории субъекта Российской Федерации, в котором проживает гражданин, при оказании ему медицинской помощи в рамках программы государственных гарантий бесплатного оказания медицинской помощи: Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации: от 21 декабря 2012 г. № 1342н // Вестник Росздравнадзора. – 2013. – № 2. – С. 74/
3. Голубева М.Л., Малышева И.Ю. Подходы к управлению транзакционными издержками сферы здравоохранения // Российское предпринимательство. – 2010. – № 12. – Вып. 1 (173). – С. 119–122.
4. Зозуля Ю.В. Экономические аспекты совершенствования российского здравоохранения: дис. ... канд. экон. наук. – Новосибирск, 2001. – 207 с.
5. Левкевич М.М., Рудницкая М.М. Государственная и муниципальная политика в сфере здравоохранения: реализация и оценка эффективности: монография. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 216 с.
6. Маркова Е.В. Теоретические подходы анализу транзакционных издержек отрасли здравоохранения // Экономические науки. – 2014. – № 12(121). – С. 112–118.
7. Мартюкова Е.Г. Оппортунизм и издержки оппортунистического поведения в российской экономике: дис. ... канд. экон. наук. – СПб., 2013. – 201 с.
8. Образцова Е.Н. Совершенствование подходов в обеспечении качества медицинской помощи и защиты прав пациентов в системе медицинского страхования: дис. ... канд. мед. наук. – Новокузнецк, 2008. – 149 с.
9. Тихомиров А.В. Институты медицинской деятельности и инфраструктуры рынка медицинских услуг // Главный врач: хозяйство и право. – 2009. – № 2. – С. 9–13.
10. Троицкая Н.Л. Социально-экономическая оценка инвестиций в муниципальное здравоохранение: дис. ... канд. экон. наук. – Екатеринбург, 2009. – 203 с.

References

1. Ob osnovakh okhrani zdorovja grazhdan v RF [On the basis of health protection in the Russian Federation]: feder.zakon RF: dated 21.11.2011. *Sobranie zakonodatelstva RF* [Collection of Laws of the Russian Federation]. 2011. no. 48. pp. 6724.
2. Ob utverzhdenii Porjadka vibora grazhdaninom meditsinskoj organizatsii (za isklucheniem sluchaev okazaniya skoroy meditsinskoj pomoshi) za predelami territorii subekta RF, v kotorom prozhivaet grazhdanin, pri okazanii emu meditsinskoj pomoshi v ramkakh programmi gosudarstvennikh garantij besplatnogo okazaniya meditsinskoj pomoshi [On approval of the choice of a medical organization (except in cases of medical emergencies) outside the territory of the subject of Russian Federation, in which the citizen lives, with some medical assistance under the program of state guarantees of free medical care]: Priказ Ministerstva zdravooxraneniya RF: dated December 21 2012 N1342n. *Vestnik Roszdravnadzora* [Bulletin of Roszdravnadzor]. 2013, no 2. pp. 74.
3. Golubeva M.L., Malisheva I.J. *Rossiyskoe predprinimatelstvo* [Russian Entrepreneurship], 2010, no. 12, issue 1 (173). pp. 119–122
4. Zozulja Ju.V. *Ekonomicheskie aspekti sovershenstvovaniya rossiiskogo zdravooxraneniya* [Economics aspects of improving Russian health]: dis. ... kand. ekon. nauk. Novosibirsk, 2001. 207p.
5. Levkevich M.M., Rudnitskaja M.M. *Gosudarstvennaja i munitsipalnaja politika v sfere zdravooxraneniya: realizatsia i otsenka effektivnosti: monografiya* [State and municipal health policy: implementation and evaluation: a monograph]. M.:Infra-M, 2012. 216 p.
6. Markova E.V. *Ekonomicheskie nauki* [Economic sciences]. 2014. no. 12(121). pp. 112–118.
7. Martiukova E.G. *Opportunizm i izderzhki oportunisticheskogo povedeniya v rossiiskoi ekonomike* [Opportunism and costs of opportunistic behavior in the Russian economy]: diss. ... kand.ekon. nauk, Spb. 2013. 201 p.
8. Obraztsova E.N. *Sovershenstvovanie podhodov v obespechenii kachestva meditsinskoj pomoshi i zashiti prav pacientov v sisteme meditsinskogo strakhovaniya* [Improving of approaches in ensurance of quality of care and protection of the rights of patients in health insurance]: dis. ...kand.med.nauk. Novokuznetsk. 2008. 149 p.
9. Tikhomirov A.V. *Glavniyvrach: khoziaystvo i pravo* [Chief Physician: economy and Law]. 2009. no. 2. pp. 9–13.
10. Troitskaia N.L. *Sotsialno-ekonomicheskaja otsenka investitsij v munitsipalnoe zdravoojhranenie* [Socio-economic assessment of investment in municipal health]: dis. ...kand. ekon. nauk. Ekaterinburg, 2009. 203 p.

Рецензенты:

Мужжавлёва Т.В., д.э.н., профессор кафедры экономической теории и международных отношений, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары;

Яковлев А.Е., д.э.н., профессор, ведущий кафедрой региональной экономики и предпринимательства, ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары.