ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ № 12 2017 ИССЛЕДОВАНИЯ Часть 1 ISSN 1812-7339

Журнал издается с 2003 г.

Электронная версия: http://fundamental-research.ru

Правила для авторов: http://fundamental-research.ru/ru/rules/index

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» - 33297

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., проф. 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. (Невинномысск); д.т.н., проф. Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., проф. Пачурин Г.В. (Нижний Новгород); д.т.н., проф. Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Великий Новгород); д.т.н., к.ф.-м.н., проф. Мишин В.М. (Пятигорск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.т.н., проф. Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., проф. Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.т.н., проф. Дворников Л.Т. (Красноярск); д.т.н., проф. Снежко В.А. (Москва); 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); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.э.н., проф. Серебрякова Т.Ю. (Чебоксары); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.э.н., проф. Апенько С.Н. (Омск); д.э.н., проф. Скуфьина Т.П. (Апатиты); д.э.н., проф. Самарина В.П. (Москва)

Журнал «Фундаментальные исследования» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий, и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63397.

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ (двухлетний) = 1,252.

Учредитель, издательство и редакция: ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Ответственный секретарь редакции – Бизенкова Мария Николаевна – +7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 13.12.2017 Дата выхода номера 13.01.2018

Формат 60х90 1/8 Типография ООО «Научно-издательский центр Академия Естествознания», г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Технический редактор Митронова Л.М. Корректор Галенкина Е.С.

Распространение по свободной цене Усл. печ. л. 29,75 Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2017/12

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические нау	/ки ((05.02.00	, 05.13.00	, 05.17.00	, 05.23.00))

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОТОТИПА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП В ТЕСТОВОМ РЕЖИМЕ	
Абенова Ж.С.	9
МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ШСХП ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПЛАНОК СКОЛЬЖЕНИЯ ПОДУШЕК РАБОЧИХ ВАЛКОВ	
Анцупов В.П., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Русанов В.А., Паньков Д.Н.	. 14
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЧАСТОТАХ НАГРУЖЕНИЯ	
Бекренев Н.В., Злобина И.В.	. 19
ОЦЕНКА МАСШТАБИРУЕМОСТИ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БУЛЕВОЙ ВЫПОЛНИМОСТИ	
Богданова В.Г., Горский С.А.	. 25
ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
Глухова Л.Р., Фетисова М.А.	. 33
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСНОВНОЙ НАГРУЗКИ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КРИВОШИПНОЙ ГОЛОВКИ ШАТУНА С КОСЫМ РАЗЪЕМОМ	
Гоц А.Н.	. 38
ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ	
Дворников Л.Т., Герасимов С.П.	. 44
КОНВЕРГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ПРОГРАММ С УРОВНЯМИ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ	
Деев М.В., Кравец А.Г., Финогеев А.Г.	52
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КОМБИНИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОНАПОРНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ	
Долотовский И.В., Попов А.И., Ушаков К.Г.	. 58
ТРУБОПРОВОДНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
Иванов В.А., Соколов С.М., Огудова Е.В.	. 63
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГУЩАЮЩЕЙ ПРИСАДКИ «МАКСОЙЛ В3-011» В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАСЛАХ МЕТОДАМИ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И ВЭЖХ	
Красная Л.В., Чернышева А.В., Гаврилов П.А., Зуева В.Д., Балак Г.М., Кузнецова О.Ю., Приваленко А.Н.	68
ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИЗАЙНА ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК В СОВРЕМЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ	
Месенева Н.В., Милова Н.П.	. 74
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЯКУТИИ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Местников А.Е., Семенов С.С., Васильева Д.В	. 80

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБЪЁМНОГО ГИДРОПРИВОДА С ДИЗЕЛЕМ МОБИЛЬНОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ	4
Озерский А.И., Сидоренко В.С., Ракуленко С.В., Полешкин М.С.	85
ПОИСК ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С КОНТУРНЫМ ФОРМАТОМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	
Патрушев А.О., Осипов М.П.	91
ПОЭТАПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА	
Петросов Д.А., Игнатенко В.А.	97
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦЕРИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА Y $_3$ AL $_5$ O $_{12}$:СЕ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ	
Полисадова Е.Ф., Тао Хан, Олешко В.И., Валиев Д.Т., Ваганов В.А., Шонши Джанг, Бураченко А.Г.	. 103
СВЯЗЬ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И ПРИБЛИЖЕНИЕ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЦЕПНЫМИ ДРОБЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	
Рагимханова Г.С., Кулиева Д.Р., Рагимханова А.Р., Гаджиева З.Д.	. 110
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	
Родионов Н.Г., Коротков В.В., Шитохина О.Г., Герасимова Н.С.	. 115
ТЕОРИИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ	
Саенков К.Л., Оглезнева С.А., Гревнов Л.М.	. 121
О МЕХАНИЗМЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ МЕДИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ТОКА	
Ульянкина А.А., Смирнова Н.В.	. 126
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА	
Фам Хоанг Чунг, Чигиринский Ю.Л., Полянчиков Ю.Н.	. 132
БЕНЧМАРКИНГ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГРАФОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	
Фирсов М.И., Целых А.А.	. 138
НАХОЖДЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ ПРОТОКОЛА ТИПА Х.25 С КУМУЛЯТИВНОЙ КВИТАНЦИЕЙ В АСИММЕТРИЧНОМ РАДИОТРАКТЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ТРЕБУЕМОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ И ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ МНОГОПАКЕТНОГО СООБЩЕНИЯ	
Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Лягин М.А.	. 143
ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ХОЛДИНГОВОГО ТИПА	
Черников Б.В.	. 149
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ТРАНСПОРТА ДОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ПРИБРЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ	
	. 157
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ РОТОРА ШАРОВОГО ГИРОСКОПА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
Юльметова О.С., Ландау Б.Е., Щербак А.Г.	. 163

Экономические науки (08.00.00)

ОЦЕНКА ПАРНЫХ СВЯЗЕЙ (ЗАВИСИМОСТЕЙ) МЕЖДУ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАННЫМ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ	
Адамадзиев К.Р., Ахмедов А.С.	169
ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Акопян А.Э., Дорохова Е.И., Капитан С.А.	175
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ	
Волошин А.В., Александров Ю.Л.	181
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА И РАЗМЕЩЕНИЯ МЯСНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В СИСТЕМЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	
Горнин Л.В.	187
ПРОЦЕССНО-ТРАНСФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	
Ковальчук Л.Б.	190
ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ НА ДЕМОГРАФИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В РЕГИОНЕ НА ПРИМЕРЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
Кулькова И.А., Плутова М.И.	201
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПАНИИ ПО МИКРОФИНАНСИРОВАНИЮ СО СМЕШАННЫМИ ПОТОКАМИ ВХОДЯЩИХ РИСКОВ	
Носова М.Г.	207
ОЦЕНКА ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СХЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	
Петрищев В.П., Косых П.А.	212
РЕАЛИЗАЦИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МОДЕЛИ «СТАРТАП – ИНВЕСТОР – КОРПОРАЦИЯ И ГОСУДАРСТВО»	
Титов В.А., Вейнберг Р.Р., Савинова В.М.	217
ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ МОРОЖЕНОГО РАЗЛИЧНОГО РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА	
Ульянова О.В., Тернавщенко К.О., Илларионова В.В.	223
К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР	
Утенков Г.Л.	229
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОРТФЕЛЯ ЗАКАЗОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С УЧЕТОМ МНОГОВАРИАНТНОСТИ ВЫХОДА СОРТИМЕНТОВ С ЛЕСОСЫРЬЕВОЙ БАЗЫ	
многовариантности выхода сортиментов с лесосырьевой базы Шегельман И.Р., Будник П.В., Щеголева Л.В	234
······································	

CONTENTS

METHODS OF IMPROVING	THE CAPETY IN THE	E DD EDAD ATIONI OF T	THE DI ACINIC
VIELEUUS OF HVIPKUVING	THE SAFETY IN THE	PREPARALIUM OF	I HE PLACING
HEILIODS OF HAILING VIEWS		TILLITHUM TOTO	TILL I LITTOIT (C

Technical sciences (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

OF A PROTOTYPE OF AN INTEGRATED ENVIRONMENT OF INFORMATION COOPERATION IN OPEN ACCESS IN THE TEST MODE	
Abenova Zh.S.	9
MODEL OF FAILURES OF MAIN DRIVE NLSHHP ON CRITERIA OF WEAR-RESISTANCE OF GUIDANCE PLANS OF SLIDING PILLOWS OF WORKING ROLLERS	
Antsupov V.P., Antsupov A.V. (jr.), Antsupov A.V., Rusanov V.A., Pankov D.N.	14
THE PILOT STUDY OF FORMS OF FORCED OSCILLATIONS OF PRODUCTS FROM COMPOSITION MATERIALS IN CASE OF ULTRASONIC FREQUENCIES OF LOADING	
Bekrenev N.V., Zlobina I.V.	19
EVALUATION OF SERVICE-ORIENTED APPLICATION SCALABILITY FOR SOLVING BOOLEAN SATISFIABILITY PROBLEMS	
Bogdanova V.G., Gorskiy S.A.	25
DEPENDENCE OF QUALITY OF CONSTRUCTION PRODUCTS FROM INDICATORS OF EFFICIENCY OF WORK OF CONSTRUCTION EQUIPMENT	
Glukhova L.R., Fetisova M.A.	33
DETERMINATION OF THE COEFFICIENT BASIC LOAD ON THREAD IN CONNECTION THE OF THE CRANK CONNECTING ROD HEAD WITH AN OBLIQUE CONNECTOR	
Gots A.N.	38
THE FUNDAMENTAL PROBLEM MEGASATELLITE PLANETARY GEAR SETS AND POSSIBLE WAYS OF THEIR PERMISSION	
Dvornikov L.T., Gerasimov S.P.	44
CONVERGENT MODEL FOR THE SYNCHRONIZATION OF EDUCATIONAL PROGRAMS AND RESOURCESIN THE CONTINUOUS TRAINING OF SPECIALISTS	
Deev M.V., Kravets A.G., Finogeev A.G.	52
ENERGY-TECHNOLOGICAL COMBINATION IN THE SYSTEM OF UTILIZATION OF LOW-PRESSURE HYDROCARBON GASES	
Dolotovskiy I.V., Popov A.I., Ushakov K.G.	58
CONSTRUCTION OF PIPELINES AND AUTOROADS AS OIL AND GAS FIELD FACILITIES	
Ivanov V.A., Sokolov S.M., Ogudova E.V.	63
DETERMINATION OF THICKENING ADDITIVE «MAXOIL V3-011» IN HYDRAULIC OILS BY IR SPECTROSCOPY AND HPLC METHODS	
Krasnaya L.V., Chernysheva A.V., Gavrilov P.A., Zueva V.D., Balak G.M., Kuznetsova O.Yu., Privalenko A.N.	68
TRENDS OF THE DESIGN OF CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN THE MODERN URBAN ENVIRONMENT	
Meseneva N.V., Milova N.P.	74
RATIONAL USE OF YAKUTIA'S MINERAL RESOURCES IN CONSTRUCTION MATERIALS TECHNOLOGY	
Mestnikov A.E., Semenov S.S., Vasileva D.V.	80
RESEARCH OF DYNAMIC MODES OF VOLUMETRIC HYDRAULIC DRIVE WITH DIESEL ENGINE MOBILE DRILLING MACHINE	
Ozerskiy A.I., Sidorenko V.S., Rakulenko S.V., Poleshkin M.S.	85

FINDING THE BOUNDARIES OF RECTANGULAR OBJECTS IN IMAGES WITH A CONTOUR REPRESENTATION FORMAT	
Patrushev A.O., Osipov M.P.	91
STEP-BY-MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WITH USE OF INTELLIGENT STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS	71
Petrosov D.A., Ignatenko V.A.	97
EFFECT OF CERIUM CONCENTRATION ON LUMINESCENT PROPERTIES OF Y ₃ AL ₅ O ₁₂ : CE UNDER ULTRAVIOLET EXCITATION	
Polisadova E.F., Tao Han, Oleshko V.I., Valiev D.T., Vaganov V.A., C. Zhanga, Burachenko A.G.	. 103
THE RELATIONSHIP OF THE SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF VARIOUS TYPES AND APPROXIMATION OF SOLUTIONS TO DIFFERENTIAL EQUATIONS CONTINUED FRACTIONS WITH THE USE OF THE PROGRAMMING ENVIRONMENT	
Ragimkhanova G.S., Kulieva D.R., Ragimkhanova A.R., Gadzhieva Z.D.	. 110
A STUDY OF THE THERMODYNAMICS CHARACTERISTICS OF HEAT PUMPING UNITS FOR HEAT SUPPLY OF RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL BUILDINGS AND STRUCTURES IN MODERN CONDITIONS	
Rodionov N.G., Korotkov V.V., Shitokhina O.G., Gerasimova N.S.	. 115
THEORY AUSTENITE-MARTENSITE TRANSFORMATION	
Saenkov K.L., Oglezneva S.A., Grevnov L.M.	. 121
ON MECHANISM OF NANODISPERSED COPPER OXIDES FORMATION UNDER PULSE ALTERNATING CURRENT	
Ulyankina A.A., Smirnova N.V.	. 126
METHODS OF INTENSITY DECREASING OF HARD ALLOY TOOL WEAR	
Pham Hoang Trung, Tchigirinskiy Yu.L., Polyanchikov Yu.N.	. 132
BENCHMARKING GRAPH CLUSTERING ALGORITHMS FOR DECISION SUPPORT PROBLEMS	
Firsov M.I., Tselykh A.A.	. 138
FINDING OF BORDERS OF APPLICABILITY OF THE REPORT OF TYPE X.25 WITH THE CUMULATIVE RECEIPT IN THE DISSYMETRIC RADIO PATH OF DATA TRANSMISSION AT DEMANDED RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DELIVERY OF THE MULTIPACKAGE MESSAGE	
Tsimbal V.A., Toiskin V.E., Lyagin M.A.	. 143
FEATURES OF MASTER DATA SYSTEM CREATION IN HOLDING	
Chernikov B.V.	. 149
MATHEMATICAL MODELING OF WAVE PROCESSES AND TRANSPORT OF BOTTOM MATERIALS TAKING INTO ACCOUNT COASTAL STRUCTURES IN COASTAL WATER AREAS	
Chistyakov A.E., Protsenko E.A., Timofeeva E.F., Nikolich N.A.	. 157
SYSTEMIC ANALYSIS FOR THE PROCESS OF ELECTROSTATIC GYRO ROTOR MANUFACTURE BASED ON APPLYING IONLY-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES	
Yulmetova O.S., Landau B.E., Scherbak A.G.	. 163
5	
Economic sciences (08.00.00)	
EVALUATION OF RATIOS (CORRELATIONS) BETWEEN ECONOMIC INDICATORS OF RUSSIA'S REGIONS ALONG SPATIAL DATA THROUGH THE INSTRUMENTALITY OF REGRESSION EQUATIONS	
Adamadziev K.R., Akhmedov A.S.	. 169

SPECIAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF FEDERAL DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION	
Akopyan A.E., Dorokhova E.I., Kapitan S.A.	175
THE COMPETITIVENESS OF INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION IN THE EDUCATIONAL MARKET: METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSMENT	
Voloshin A.V., Aleksandrov Yu.L.	181
ECONOMY-MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF OPTIMUM VOLUME OF PRODUCTION AND ALLOCATION OF MEATS THE ANIMAL HUSBANDRY OF FEDERAL DISTRICT IN STRATEGIC PLANNING OF DEVELOPMENT	
Gornin L.V.	187
PROCESS-TRANSFORMATIONAL MODEL OF DIAGNOSIS OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEM	
Kovalchuk L.B.	196
INFLUENCE OF QUALITY OF LIFE ON THE REGIONAL DEMOGRAPHIC SITUATION CASE STUDY OF THE SVERDLOVSK REGION	
Kulkova I.A., Plutova M.I.	201
A MATHEMATICAL MODEL OF MICROFINANCE COMPANY WITH MIXED FLOWS OF INCOMING RISKS	
Nosova M.G.	207
EVALUATION ECCENTRICITIES ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF THE ORENBURG REGION AND ITS PRACTICAL APPLICATION FOR IMPROVE THE QUALITY OF TERRITORIAL PLANNING SCHEMES	
Petrishchev V.P., Kosykh P.A.	212
IMPLEMENTATION OF MULTI-AGENT MODEL «START-UP – CORPORATION – INVESTOR AND STATE»	
Titov V.A., Veynberg R.R., Savinova V.M.	217
EVALUATION OF COMPETITIVE ADVANTAGES FOR ICE CREAM WITH DIFFERENT RECIPES	
Ulyanova O.V., Ternavshchenko K.O., Illarionova V.V.	223
TO ESTIMATE THE EFFICIENCY OF MACHINE TECHNOLOGIES OF CULTIVATION GRAIN CROPS	
Utenkov G.L.	229
ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS FOR OPTIMIZING OF PRODUCT PORTFOLIO OF LOGGING ENTERPRISES TAKING INTO ACCOUNT THE MULTIVARIATE OUTPUT OF ASSORTMENTS FROM THE FOREST RAW MATERIAL BASE	
Shegelman J.R., Budnik P.V., Shchegoleva L.V.	234

УДК 004.4/.056

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОТОТИПА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП В ТЕСТОВОМ РЕЖИМЕ

Абенова Ж.С.

АО «Национальная компания "Казахстан Гарыш Сапары"», Астана, e-mail: zhuza44@mail.ru

Коробочные системы управления взаимоотношениями между предприятиями и заказчиками для информационной поддержки при развитии высокотехнологичной наукоемкой продукции не подходят, так как подобные системы имеют стандартный набор функций и не учитывают потребности конкретных компаний. Поэтому принято решение о создании системы управления интегрированной среды информационного взаимодействия (СУ ИСИВ) для устранения проблем информационного характера в проектных организациях космической отрасли Казахстана. СУ ИСИВ будет разрабатываться с помощью Open Source-технологий, которые имеют открытый исходный код. Однако в силу того, что программы с открытым исходным кодом имеют доступность исходного кода, вопрос безопасности разработки при использовании Open Source-инструментов требует проработки методов повышения уровня безопасности при разработке и эксплуатации СУ ИСИВ. Поэтому в настоящей статье описаны графовые модели несанкционированного доступа в систему контроля доступа и аутентификации, клиентскую и административную панели СУ ИСИВ. Результаты внедрения прототипа СУ ИСИВ в тестовую эксплуатацию показали, что графовые модели помогли определить основные угрозы безопасности в системе ИСИВ и обеспечить функционирование веб-ресурса, разграничить права доступа к файлам системы ИСИВ.

Ключевые слова: open source, модель, веб-ресурс, система управления

METHODS OF IMPROVING THE SAFETY IN THE PREPARATION OF THE PLACING OF A PROTOTYPE OF AN INTEGRATED ENVIRONMENT OF INFORMATION COOPERATION IN OPEN ACCESS IN THE TEST MODE

Abenova Zh.S.

JSC «National Company "Kazakhstan Gharysh Sapary"», Astana, e-mail: zhuza44@mail.ru

The use of packaged systems relationship management between the enterprises and customers to provide information support in the development of hi-tech products are not suitable, since such systems have a standard set of functions and does not take into account the needs of specific companies. For that reason, the decision was taken on creation of control system of the integrated environment of information cooperation (CS IEIC) to resolve the issues of an informational matter in design organizations of space industry of Kazakhstan. The CS IEIC will be developed using Open Source technology that have open source code. However, due to the fact that programs with the open-source code have source code availability, the question of security developments in the use of Open Source tools requires the elaboration of methods to improve the level of safety in the CS IEIC development and operation. Thus, the present article describes graph models of unauthorized access to the access control system and authentication of CS IEIC client and administrative panel. The results of the implementation of CS IEIC prototype in test operation have shown that graph models helped to identify the main security threats in the IEIC system and maintain functionality of a web resource, to differentiate access rights to CS IEIC system files.

Keywords: open source, model, web-resource, control system

В настоящее время представлено большое количество информационных технологий, предназначенных для взаимодействия предприятий и заказчиков/потребителей между собой. Однако подобные системы не подходят для информационной поддержки при развитии высокотехнологичной наукоемкой продукции или проекта в аэрокосмической отрасли Казахстана. Во-первых, использование коробочных систем управления взаимоотношениями предприятий и клиентов представляет собой системы со стандартным набором функций и не учитывает потребности конкретных компаний, и, как правило, нет возможности доработать программный продукт «под себя». Во-вторых, ежегодная стоимость

поддержки подобных систем требует больших финансовых затрат на техническое обслуживание, модернизацию и т.д. В-третьих, отсутствует информационная безопасность, так как у разработчика есть полный доступ к вашим данным. Поэтому принято решение о создании веб-ресурса, а именно создании интегрированной сревзаимодействия информационного (ИСИВ) для устранения проблем информационного характера, которые чаще всего возникают в проектных организациях. Основная цель системы управления ИСИВ (СУ ИСИВ) – это обеспечение доступа к единой платформе для получения и обмена информацией от различных источников, централизованное хранение данных, а также возможность реализации ограничений на объем и параметры предоставляемой информации.

СУ ИСИВ будет разрабатываться с помощью Open Source - технологий, которые имеют открытый исходный код. Так как на сегодня одной из выраженных тенденций развития IT-технологий является использование Open Source - инструментов в проектах интеграции промышленности и других сфер народного хозяйства. К примеру, Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (NASA) начиная с 2012 г., рассматривает новую политику по использованию Open Source – технологий в своих разработках | 1 |. NASA публикует в открытом доступе на сервисе Github для Open Source – пользователей научно-практические разработки [2]. Применение Open Source – технологий дает большие возможности, позволяя экономить финансы и ускорять рабочие процессы, в отличие от платных программных обеспечений (ПО), которые имеют закрытый доступ к исходному коду. Однако в силу того, что программы с открытым кодом наиболее распространены и имеют доступность исходного кода, вопрос безопасности разработок при использовании ПО с открытым кодом требуют проработки методов повышения уровня безопасности при разработке и эксплуатации СУ ИСИВ. Поэтому было принято решение описать с помощью математического аппарата уязвимости системы ИСИВ, которые помогут обеспечить в будущем безопасное функционирование веб-ресурса.

Описание математических моделей СУ ИСИВ

Прототип системы ИСИВ состоит из клиентской и административной частей [3]. Клиентская часть — это собственно вебпортал, который видит посетитель или зарегистрированный пользователь. Административная часть — это панель управления системой ИСИВ, которая отвечает за функционирование веб-ресурса ИСИВ.

Следовательно, для определения уязвимости системы, которой могут воспользоваться злоумышленники для проведения атаки, необходимо составить графовые модели для системы аутентификации и авторизации, административной и клиентской панелей [4].

Опишем графовые модели несанкционированного доступа в систему контроля доступа и аутентификации, клиентскую и административную панели СУ ИСИВ, которые состоят из трех основных множеств: $K = \{k_1, k_2, ..., k_n \mid n \in N\}$ — множество незащищенности системы, $A = \{a_1, a_2, ..., a_n \mid n \in N\}$ — множество способов атак на систему, $Z = \{z_1, z_2, z_3, ..., z_n \mid n \in N\}$ — множество отрицательных воздействий на ИСИВ после совершения атак.

На рис. 1, а, представлена графовая модель G_1 , которая описывает способы атак на систему аутентификации и авторизации на основе множеств K, A и Z. $G_1 = \{L; E\}$, где $L = \{l_1, l_2, l_3, ..., l_n\}$, n = 1, N — множество вершин графа и $E = \{e_1, e_2, e_3, ..., e_m\}$, $m = 1, N, E \subseteq L$ — множество дуг графа G_1 описывают отношения $M = K \times A \times Z$ [4].

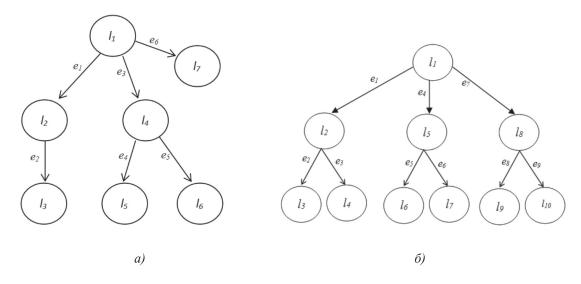


Рис. 1. а) графовая модель системы аутентификации и авторизации $G_{l}=\{L;E\}$, б) графовая модель клиентской стороны $G_{,}=\{L;E\}$

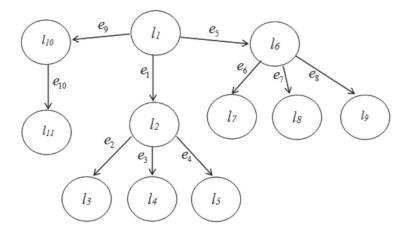


Рис. 2. Графовая модель $G_2 = \{L; E\}$ административной панели СУ ИСИВ

Модель G_1 раскрывает следующие типы уязвимостей:

- дуга e_1 : злоумышленник путем метода перебора имени пользователя, логина и паролей атакует систему аутентификаций и авторизаций;
- дуга e_2 : злоумышленник использует функции восстановления пароля;
- дуга e_3 : злоумышленник может перехватить сессию пользователя путем угадывания уникального идентификатора сессии (ID);
- дуга e_4 : незавершенность сессии позволяет злоумышленнику с помощью похищенного идентификатора сессий получать доступ к файлам или совершать мошеннические действия;
- дуга e_5 : «сессия-заглушка», которая периодически соединяется с сервером для предотвращения закрытия сессии;
- дуга e_6 : атака направлена на получения доступа к критическим файлам сервера при слабой процедуре аутентификации.

Блок клиентской панели может также содержать уязвимости для совершения атак злоумышленниками. Для описания уязвимостей и возможных способов атак на систему рассмотрен граф $G_2 = \{L; E\}$, где $L = \{l_1, l_2, l_3, ..., l_n\}$, $n = \overline{1, N}$ — множество вершин графа, $E = \{e_1, e_2, e_3, ..., e_m\}$, $m = \overline{1, N}$, $E \subseteq L$ — множество дуг графа G_2 , которые описывают отношения $M = K \times A \times Z$, касающиеся структуры клиентской панели ИСИВ. Графовая модель G_2 показана на рис. 1, б, где:

- дуга e_1 : атака направлена на получение информации об особенностях реализации протокола http, значении cookies, сообщениях об ошибках, определении структуры каталогов, браузера и интерфейса веб-приложения на стороне пользователя;

- дуга e_2 : данный тип атак используется для создания фальшивых веб-страниц, включающих формы входа в систему;
- дуга e_3 : злоумышленник посылает серверу сформированный запрос, ответ на который интерпретируется целью атаки как два разных ответа;
- дуга e_4 : атака направлена на получения доступа к файлам, директориям вне директорий веб-сервера;
- дуга e_5 : злоумышленник выполняет межсайтовое выполнение сценариев;
- дуга e_6 : CSRF-атака использует функции браузера, позволяющие автоматически отправлять ID с каждым GET или POST-запросом к веб-приложению;
- дуга e_7 : атака направлена на использование функций веб-приложений с целью обхода механизмов разграничения доступа;
- дуга e_8 : SQL-атаки направлены на вебсервер, создающие запросы к базе данных на основе, вводимых данных пользователем;
- дуга e_9 : атаки, которые позволяют злоумышленнику передать исполняемый код для выполнения его на стороне веб-сервера.

Для описания возможных способов атак и уязвимостей административной панели системы ИСИВ рассмотрен граф $G_3 = \{L; E\}$ $L = \{l_1, l_2, l_3, ..., l_n\}$, $n = \overline{1, N}$ — множество вершин графа, $E = \{e_1, e_2, e_3, ..., e_m\}$, $m = \overline{1, N}$ — множество дуг графа G_3 , описывающие $M = K \times A \times Z$. Графовая модель G_3 показана на рис. 2:

- дуга $e_{\scriptscriptstyle 1}$: сканирование, направленное на определение типа операционной системы (ОС) и компонентов веб-сервера;
- дуга e_2 : атака направлена на получение доступа к скрытым данным или функциональным возможностям системы;

- дуга e_3 : злоумышленник использует функции поиска для получения доступа к файлам за пределами корневой директории веб-ресурса;
- дуга e_4 : уязвимость в виде индексации директорий может возникнуть при ошибке конфигурации;
- дуга e_5 : атака направлена на нарушение функционирования и доступности веб-ресурса, на отказе в обслуживании вебресурса;
- дуга e_6 : недостаточное противодействие автоматизации;
- дуга e_7 : следующий вид атак направлен на ОС веб-сервера путем манипуляций входными данными;
- дуга $e_{\rm 8}$: злоумышленник создает запросы поверх транспортных протоколов интернета (TCP/UDP);
- дуга $e_{\rm 9}$: злоумышленник изменяет путь исполнения программы путем перезаписи данных памяти системы;
- дуга e_{10} : следующий вид атаки модифицирует путь исполнения программы методом перезаписи областей памяти с помощью функции форматирования символьных переменных.

Методы внедрения прототипа СУ ИСИВ на предприятии в открытый доступ в период тестовой эксплуатации

Первым делом были изучены совокупность взаимосвязанных мероприятий и задачи предприятия, касающиеся взаимодействия сотрудников предприятия с внешними организациями в рамках информационного сопровождения при совместной работе по перспективным проектам и при реализации внутрикорпоративных коммуникаций. В результате в прототип СУ ИСИВ перенесены следующие основные процессы деятельности предприятия:

- предоставление участникам полной и оперативной информации касательно реализации перспективных проектов;
- информирование участников проектов о новых дополненных данных по перспективным проектам;
- обсуждение проблемных вопросов при решении задач по проектам;
- формирование рабочих задач, сроков, а также назначение ответственных для решения задач.

В итоге на этапе внедрения прототипа системы ИСИВ в открытый доступ были сформулированы специфические задачи функционирования прототипа СУ ИСИВ в рамках формирования единой площадки по перспективным проектам. К ним относятся:

– создание раздела «Каталоги», который является архивом данных по проектам;

- создание панели инструментов по управлению проектами, где можно добавлять задачи и назначать ответственных и т.д.;
- создание раздела «Обсуждение» для коллективного обсуждения по решению задач.

Для управления проектами в единой площадке были созданы следующие права доступа в систему ИСИВ [5]: «Руководитель проекта», «Заместитель руководителя проекта», «Менеджер проекта», «Члены проекта», «Наблюдатели», «Администраторы».

Результаты внедрения СУ ИСИВ в период тестовой эксплуатации в открытый доступ

В период тестовой эксплуатации в открытом доступе обязательно проверяются у пользователей доступы к служебным файлам, каталогам, а также проводятся проверки защиты всех критически важных разделов административной панели от внешнего воздействия [6].

Из графовой модели G_1 можно отметить, что основные направления угроз безопасности пользователей, связаны с раскрытием пароля путем подбора пароля и получения доступа к БД пользователей. Основными способами борьбы с подбором паролей являются запрет на установку пользователям «слабых» паролей и ограничение количества попыток авторизации в единицу времени [7, 8].

Также из графовых моделей G_2 , G_3 видно, что еще одной из важных уязвимостей системы является индексация системы ИСИВ [7, 8]. Так как СУ ИСИВ реализована с помощью Open Source — технологий и имеет открытый исходный код, злоумышленнику провести атаку несложно, зная версию, дату обновления расширений, а также номера установленного пакета исправлений исходных кодов. Поэтому необходимо скрыть факт использования Open Source — инструментов и устранить их отличительные черты функционирования для затруднения поиска типовых уязвимостей.

К примеру, в период тестовой эксплуатации прототипа СУ ИСИВ выявлен уязвимый файл, позволяющий провести индексацию веб-ресурса – robots.txt. Поскольку содержит список каталогов, запрещенных для индексации поисковыми машинами. Поэтому необходимо запретить прямой доступ к файлам *.xml, *.txt, *.sql, *ini, которые могут быть использованы для определения версии установленных расширений ПО.

Заключение

Тестовая эксплуатация прототипа СУ ИСИВ показала существенное сокращение времени обмена данными между сотрудни-

ками и внешними пользователями системы, наличие доступа к необходимой актуальной информации 24 часа в сутки независимо от географического положения субъекта. В ходе эксплуатации были выявлены недостатки и уязвимости, которые были устранены.

Методами, применяемыми в процессе внедрения прототипа СУ ИСИВ в тестовую эксплуатацию, являются изучение взаимодействия сотрудников предприятия с внешними организациями и внутрикорпоративных коммуникаций, а также применение математических моделей для определения уязвимостей в системе аутентификации и авторизации, административной и клиентской панелей. Модели $G_1 = \{L; E\},$ $G_2 = \{L; E\}, G_3 = \{L; E\}$ помогли определить основные направления угроз безопасности в системе ИСИВ и обеспечить безопасное функционирование веб-ресурса, разграничить права доступа к файлам системы ИСИВ в период тестовой эксплуатации.

В ходе проведенной работы были сделаны следующие основные выводы:

- 1. В период тестовой эксплуатации необходимо обязательное строгое разграничение прав доступа к файлам СУ ИСИВ, пока не будут устранены выявленные уязвимости.
- 2. В период тестовой эксплуатации обязательно запретить самостоятельную регистрацию новых пользователей. Такая процедура обеспечивает дополнительную защиту, так как СУ ИСИВ будут пользоваться только «проверенные» пользователи, имеющие непосредственное отношение к работам по проектам в данной системе.
- 3. Обязательно необходимо изменить стандартное имя администратора и его ID. Это обеспечит защиту критически важной учетной записи от подбора и взлома вебресурса роботами злоумышленника.
- 4. Так как прототип СУ ИСИВ еще не является финальной версией, необходимо обеспечить доступ в административную панель с определенных IP-адресов.
- 5. Ограничить количество ввода логинапароля для пользователей в административную и клиентскую панели.
- 6. Отключить опции отладки системы и локализации, которая затруднит доступ

- в получении дополнительной информации о СУ ИСИВ.
- 7. Скрыть факт использования Open Source инструментов и устранить их отличительные черты функционирования для затруднения поиска типовых уязвимостей в системе ИСИВ.
- 8. Обязательно выполнять резервное копирование, которое должно зависеть от обновления информационного содержимого веб-ресурса, вычислительных мощностей и дискового пространства. Резервное копирование желательно выполнять ночью, когда нагрузка на систему минимальна.

Результаты внедрения прототипа СУ ИСИВ в открытый доступ в период тестовой эксплуатации позволят разработать методику внедрения подобных систем в эксплуатацию, нацеленных на безопасное функционирование веб-ресурсов, разрабатываемых с помощью Open Source — инструментов.

Список литературы

- 1. NASA Open Source Development [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nasa.gov/open/open-source-development.html (дата обращения: 15.11.2017).
- 2. Сервис для open source-пользователей научно-практических разработок от NASA. NASA Open Source Software Projects [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://code.nasa.gov (дата обращения: 15.11.2017).
- 3. Петров М.Н., Абенова Ж.С., Набиев Н.К. Исследование экспериментального прототипа системы интегрированной среды информационного взаимодействия // Вестник Сибирского гос. аэрокосмич.ун-та им. М.Ф. Решетнева. -2017.-T.18, № 1.-C.78–88.
- 4. Домнин Л.Н. Элементы теории графов: учеб. пособие / Л.Н. Домин. Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2007. 144 с.
- 5. Петров М.Н., Абенова Ж.С., Набиев Н.К. Прототипирование интегрированной среды информационного взаимодействия в космической отрасли // Решетневские чтения: материалы XX Юбилейной междун. науч-практ. конф. (Красноярск, 09–12 ноября 2016 г). Красноярск, 2016. Ч. 2. С. 228–231.
- 6. Гольчевский Ю.В. Северин П.А. Безопасное Webпрограммирвоание: безопасность СМS: уч. пособие / Ю.В. Гольчевский, П.А. Северин. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского гос. ун-та, 2013.-68 с.
- 7. Петров М.Н., Абенова Ж.С., Набиев Н.К. Модель интегрированной среды информационного взаимодействия // Фундаментальные исследования. 2016. № 10–2. C. 322–326.
- 8. Open Web Application Security Project открытый проект обеспечения безопасности веб-приложений, который классифицирует атаки и уязвимости веб-приложений [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.owasp.org/index.php/Main_Page (дата обращения: 04.10.2017).

УДК 621.771.23

МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ШСХП ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПЛАНОК СКОЛЬЖЕНИЯ ПОДУШЕК РАБОЧИХ ВАЛКОВ

Анцупов В.П., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Русанов В.А., Паньков Д.Н.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, e-mail: denispankov@mail.ru

Практика эксплуатации основного оборудования широкополосных станов холодной прокатки показывает, что одной из основных причин снижения его долговечности является крайне низкий срок службы направляющих планок скольжения подушек рабочих валков. Для решения задачи по повышению ресурса основного оборудования в работе сформулирована модель процесса возникновения износовых отказов главного привода по критерию работоспособности направляющих планок. В основу построения модели положены математическая формализация базовых понятий теории надежности и основополагающие зависимости энерго-механической концепции повреждаемости стационарных трибосопряжений. Модель реализована в виде блочного алгоритма прогнозирования проектного ресурса направляющих планок для проведения аналитических исследований по поиску новых более долговечных конструкций исследуемых узлов трения без проведения лабораторных или промышленных испытаний.

Ключевые слова: главный привод, подушки рабочих валков, планка скольжения, модель отказов, износостойкость, прогнозирование, ресурс

MODEL OF FAILURES OF MAIN DRIVE NLSHHP ON CRITERIA OF WEAR-RESISTANCE OF GUIDANCE PLANS OF SLIDING PILLOWS OF WORKING ROLLERS

Antsupov V.P., Antsupov A.V. (jr.), Antsupov A.V., Rusanov V.A., Pankov D.N.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: denispankov@mail.ru

The practice of operating the main equipment of broadband cold rolling mills shows that one of the main reasons for the decrease in its durability is the extremely low service life of the guide slips of the work roll cushions. To solve the problem of increasing the life of the main equipment, the model of the process of occurrence of wear failures of the main drive is formulated in accordance with the criterion of the working capacity of the guide rails. The model is based on the mathematical formalization of the basic concepts of reliability theory and the fundamental dependencies of the energy-mechanical concept of damage to stationary tribological contacs. The model is implemented in the form of a block algorithm for predicting the project resource of slip slats for conducting analytical studies on the search for new effective more durable designs of the nodes under investigation without conducting laboratory or industrial experiments.

Keywords: main drive, work roll cushions, slip bar, bounce model, wear resistance, forecasting, service life

На широкополосных станах холодной прокатки (ШСХП) при перевалках комплекты рабочих валков с подушками перемещают по стальным плитам 1 (см. рисунок). Для снижения коэффициента трения снизу к подушкам прикрепляют сменные направляюшие планки скольжения 2, изготовленные из антифрикционной бронзы БрА9ЖЗЛ [1]. В процессе эксплуатации по мере изнашивания бронзовых планок нарушается точность позиционирования байонетного узла в муфтах, соединяющих рабочие валки с головками карданных валов. При достижении износом планок предельного значения возникает критическое смещение рабочих валков относительно головок карданных валов, при котором их соединение невозможно. Это приводит к отказу главной линии и вынужденному простою стана для замены направляющих планок.

Как показывает практика, ресурс изнашиваемых планок крайне мал: момент от-

каза наступает через два-три месяца, что приводит к существенному уменьшению технических, технологических и экономических показателей предприятия. Поэтому продление срока службы главного привода по критерию работоспособности направляющих планок скольжения является весьма важной и актуальной проблемой производства холоднокатаного листа.

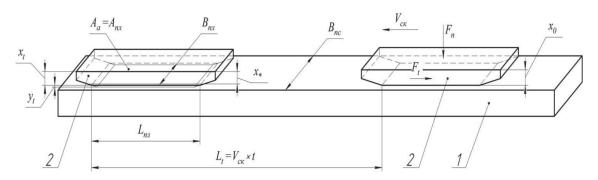
При решении такого рода задач в настоящее время используют полученные на основе обработки многочисленных экспериментальных данных статистические модели параметрических отказов исследуемых трибосопряжений [2–4]. Однако их практическое применение для оценки текущего износа и ожидаемого ресурса исследуемых узлов трения требует либо предварительного проведения модельных или натурных испытаний опытных образцов, либо специальных экспериментальных исследований для получения тех или иных входящих

в модели физических величин, что связано с существенными материальными и временными затратами.

Существенное снижение или полное устранение затрат возможно при использовании чисто теоретических моделей отказов трибосистем с использованием современных представлений о физической природе процессов фрикционного взаимодействия, повреждаемости и разрушения элементов узлов трения из известных материалов в заданных условиях эксплуатации. В частности, при построении моделей параметрической надежности исследуемых трибосопряжений в работах [5–7] предложено

Разработка модели износовых отказов планок скольжения подушек рабочих валков

Разрушение контактной поверхности бронзовых направляющих планок 2 про- исходит при их перемещении по стальным закаленным плитам 1 с постоянной скоростью скольжения $V_{\rm ck}$ (см. рисунок). Сила F_n прижатия каждой направляющей планки скольжения 2 к плите 1 равна одной четвертой веса комплекта валков с подушками. В процессе эксплуатации к произвольному моменту времени t каждая планка изнашивается на величину y_r .



Расчетная схема взаимодействия бронзовых планок 2 со стальными плитами 1

описывать процесс изнашивания поверхностей трения как кинетический, развивающийся во времени процесс постепенной повреждаемости и разрушения материалов поверхностных слоев и накопления дефектов их структуры на различных масштабных уровнях, а для его математического моделирования энерго-механическую концепцию изнашивания.

Для решения подобной задачи, рассматриваемой в данной работе, — поиска эффективных способов снижения скорости изнашивания направляющих планок скольжения подушек рабочих валков и продления ресурса главного привода — ниже представлена аналитическая модель их параметрических отказов по критерию износостойкости материалов поверхностных слоев.

Модель построена на основополагающих принципах теории проектной оценки надежности деталей машин [5] с использованием базовых зависимостей энерго-механической концепции изнашивания стационарных узлов трения [6, 7], которые выведены путем совместного решения системы уравнений молекулярно-механической и структурно-энергетической [8–10] теорий трения.

Согласно общей теории проектной оценки надежности стационарных узлов трения [5, 6] для оценки текущего состояния планок скольжения используем изменяющийся во времени основной геометрический размер – их толщину x_{t} (см. рисунок). В процессе деградации каждой планки со средней скоростью изнашивания \dot{y} параметр x снижается от начального значения $x_t = x_0$ до предельного – $x_t = x_*$, которое устанавливается в нормативных документах [1]. В качестве допущения принимаем, что сопряжение работает в стационарном режиме трения и усталостного изнашивания в нормальных условиях эксплуатации и смазки без схватывания и заедания поверхностей. Кроме того, будем пренебрегать незначительным увеличением площади контакта при изнашивании планок из-за трапецеидальной формы их боковых поверхностей (см. рисунок) и снижением в связи с этим контактных давлений.

В этих условиях изменение технического состояния каждой планки 2 (см. рисунок) в процессе эксплуатации можно представить уравнением [5, 6]:

$$x_{t} = x_{0} - y_{t} = x_{0} - \dot{y} \cdot t . \tag{1}$$

Решением относительно $t = t_*$ уравнения

$$x_t = x_0 - \dot{y} \cdot t = x_* \,, \tag{2}$$

которое характеризует предельное состояние планки, определим выражение для оценки их проектного ресурса:

$$t_* = (x_0 - x_*) / \dot{y} . {3}$$

Для оценки скорости изнашивания планок скольжения используем основную зависимость (кинетическое уравнение) энерго-механической теории изнашивания стационарных трибосопряжений [6, 7]:

$$\dot{y} = \alpha^* \cdot \mathbf{v} \cdot f_{\text{mex}} \cdot p_a \cdot V_{\text{ck}} / \Delta u_{e^*}, \tag{4}$$

где α^* – коэффициент перекрытия площади трения планки;

v – коэффициент превращения работы сил трения в изменение внутренней энергии поверхностного слоя планки;

 $f_{\text{мех}}$ — механическая составляющая коэффициента трения;

 $V_{\rm ck}, p_a$ — скорость скольжения элементов сопряжения и контактное давление;

 Δu_{e^*} — критическая плотность скрытой энергии структуры материала планки.

Система уравнений (3)—(4) и описанных ниже математических выражений для определения входящих в них параметров представляет постановку однопараметрической краевой задачи физической теории надежности стационарных узлов трения «плита 1 — планка 2». Для получения однозначного решения сформулированной задачи и разработки модели отказов исследуемой пары трения необходимо задать условия однозначности, которые включают отличительные признаки сопряжения, начальные и граничные условия [6, 7].

Ниже для проектной оценки ресурса исследуемых пар трения «плита 1 — планка 2» представлен алгоритм решения системы (3)–(4), в котором отличительные признаки рассматриваемой трибосистемы, начальные и граничные условия краевой задачи сформулированы в соответствующих блоках.

Блок 1. Исходные данные.

Представленные в этом блоке параметры и зависимости вместе с расчетной схемой (см. рисунок) определяют отличительные особенности исследуемого объекта и начальные условия краевой задачи.

1 группа. Геометрические параметры. $L_{\rm nn}$ и $B_{\rm nn}$ – длина и ширина планки; $x_{\rm 0}$, x_{*} – начальное и предельное значение толщины планки, см. рисунок.

2 группа. Силовые и кинематические параметры. F_n и F_t — нормальная и касательная силы в сопряжении; $V_{\rm cs}$ — относительная скорость скольжения трибоэлементов, см. рисунок.

3 группа. Микрогеометрические параметры. R_{a1} , R_{a2} – среднеарифметическое отклонение профиля трущихся поверхностей; Δ_1 – комплексный параметр шероховатости поверхности плиты.

4 группа. Физико-механические параметры поверхностных слоев плиты 1 и планки 2 (см. рисунок), $\mu_{1,2}$ и $E_{1,2}$ – коэффициенты Пуассона и модули упругости материалов; $\sigma_{\text{пи1},2}$, $\sigma_{T1,2}$ и $\sigma_{B1,2}$, — пределы пропорциональности, пределы текучести и пределы прочности материалов; $HB_{1,2}$ и $HV_{1,2}$ — твердость по Бринеллю и Виккерсу поверхностей плиты 1 и планки 2 соответственно; $\alpha_{\text{эф1},2}$ и $\rho_{1,2}$ — коэффициенты гистерезисных потерь и плотность материалов поверхностных слоев.

5 группа. Теплофизические параметры. $\Delta H_{S1,2}$ – энтальпия плавления материалов плиты 1 и планки 2 соответственно; $\alpha_{1,2}$ и $\lambda_{1,2}$ – коэффициенты теплоотдачи и коэффициенты теплопроводности материалов трибоэлементов; u_{e02} – плотность потенциальной составляющей внутренней энергии материала планки в исходном состоянии [6]:

$$u_{e02} = \frac{(0.071 \cdot HV_2)^{2.4}}{6 \cdot G \cdot \left(6.47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_2 + 0.12 \cdot 10^{-2}\right)^2}.$$

6 группа. Фрикционные характеристики. τ_0 , β — параметры сдвиговой прочности молекулярной связи трущихся поверхностей [8].

Блок 2. Расчет геометрии контакта и свойств материалов поверхностных слоев [11–13], (см. рисунок).

2.1. Площадь контакта — $A_a = L_{\text{пл}} \cdot B_{\text{пл}}$; площади трения — $A_{T1} = L_t \cdot B_{\text{пл}}$ и $A_{T2} = A_a$; коэффициенты перекрытия — $\alpha_1^* = A_a / A_{T1}$ и $\alpha_2^* = A_a / A_{T2}$.

2.2. Периметры площади трения: плиты — $u_{\rm l}=2\cdot(L_{\rm l}+B_{\rm nc})$; планки — $u_{\rm 2}=2\cdot(L_{\rm nn}+B_{\rm nn})$.

2.3. Нормальное напряжение (давление) на контакте: $p_a = F_n / A_a$.

2.4. Механические характеристики материалов: пределы пропорциональности — $\sigma_{\text{пп} \ 1,2} = (0.9 \div 0.97) \cdot \sigma_{T1,2}$; модули сдвига — $G_{1,2} = E_{1,2} / (2 \cdot (1 + \mu_{1,2}))$; упругие постоянные — $\theta_{1,2} = (1 - \mu_{1,2}^2) / E_{1,2}$.

Блок 3. Оценка параметров преобразования внешней энергии (граничные условия) [6].

3.1. Коэффициент изменения внутренней энергии материалом поверхностного слоя плиты — $\mathbf{v}_1 = \mathbf{1} - (K_\epsilon \cdot R_{a1}^{1/3} + \mathbf{1})^{-1}$, где $K_\epsilon = \theta_1^{2/3} / (\theta_2^{2/3} \cdot R_{a2}^{1/3})$.

3.2. Коэффициент изменения внутренней энергии материалом поверхностного слоя планки: $v_2 = 1 - v_1$.

Блок 4. Расчет полного коэффициента трения по зависимостям [8, 11], определяющим граничные условия задачи.

4.1. Напряжение в контактном слое планки:

$$\sigma_{a2} = \sigma_{T2} \cdot \left(p_a / \sigma_{T2} \right)^{p_a / \sigma_{T2}}.$$

4.2. Условия для оценки напряженного состояния контактного слоя планки [6]:

$$\begin{cases} \text{упругое состояние, если } \sigma_{a2} < \sigma_{\text{пи2}}; \\ \text{упруго-пластическое, если } \sigma_{y2} < \sigma_{a2} < \sigma_{T2}; \\ \text{пластическое, если } \sigma_{T2} < \sigma_{a2} < HB_2. \end{cases}$$

- 4.3. Полный коэффициент трения в функции вида напряженного состояния материала контактного слоя в период приработки:
 - упругое состояние:

$$f = 2, 4 \cdot \tau_0 \cdot \left(\frac{\theta_2^4}{p_a \cdot \Delta_1^2}\right)^{0,2} + \beta + 0, 2 \cdot \alpha_{9\phi_2} \cdot \left(p_a \cdot \Delta_1^2 \cdot \theta_2\right)^{0,2};$$

- упруго-пластическое состояние:

$$f = 1,25 \cdot \tau_0 \cdot \left(\frac{\theta_2^2}{p_a \cdot \Delta_1}\right)^{1/3} + \beta + 0,4 \cdot \alpha_{9\phi_2} \cdot \left(p_a \cdot \Delta_1 \cdot \theta_2\right)^{1/3};$$

– пластическое состояние:

$$f = \frac{\tau_0}{HB_2} + \beta + 0.9 \cdot \left(\frac{p_a}{HB_2} \cdot \Delta_1\right)^{0.5}.$$

Блок 5. Оценка коэффициента трения в установившемся режиме работы [8, 12, 13].

5.1. Стационарные температуры поверхности плиты и планки соответственно

$$T_{1,2} = \frac{f \cdot F_n \cdot V_{\text{ck}}}{A_{T,1,2} \cdot \left(\lambda_2 \cdot m_2 + \lambda_1 \cdot m_1\right)} + T_0,$$

где $m_{1,2} = \sqrt{\alpha_{1,2} \cdot u_{1,2} / (\lambda_{1,2} \cdot A_{T1,2})}$

5.2. Упругие постоянные материалов:

$$\theta_{1,2}(T_{1,2}) = (1 - \mu_{1,2}^2(T_{1,2})) / E_{1,2}(T_{1,2})$$

5.3. Коэффициент трения:

$$f = (1 \div 1,5) \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{9 \oplus 2})^{0,5} + \beta.$$

5.4. Механическая составляющая коэффициента трения:

$$f_{\text{mex}} = \frac{(1 \div 1, 5) \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{9\Phi^2}) + \beta \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{9\Phi^2})^{0,5}}{3 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{9\Phi^2})^{0,5} + \beta}$$

Блок 6. Расчет критической плотности энергии изнашиваемого материала [6].

6.1. Приращение плотности тепловой составляющей внутренней энергии:

$$\Delta u_{T^{*2}} = \rho_2(T_2) \cdot c_2(T_2) \cdot T_2.$$

6.2. Энергоемкость структуры материала контактного слоя планки (критическая плотность скрытой энергии):

$$\Delta u_{e^*2} = \Delta H_{S2} - u_{e02} - \Delta u_{T^*2}$$

Блок 7. Оценка долговечности исследуемого сопряжения.

7.1. Стационарная скорость изнашивания поверхности планки (см. уравнение (4)):

$$\dot{y}_2 = \alpha_2^* \cdot \mathbf{v}_2 \cdot f_{\text{Mex}} \cdot p_a \cdot V_{\text{CK}} / \Delta u_{e^*2}.$$

7.2. Проектный ресурс трибосопряжения (см. уравнение (3)) $t_* = (x_0 - x_*) / \dot{y}_2$. Очевидно, что предложенный алгоритм

Очевидно, что предложенный алгоритм позволяет рассчитывать ожидаемый ресурс t_* направляющих планок подушек рабочих валков для заданных условий будущей эксплуатации без проведения дополнительных лабораторных или промышленных экспериментов. С его помощью возможно аналитически решать задачи конструирования наиболее износостойких планок скольжения и, следовательно, прогнозировать эффективное повышение долговечности главного привода.

Заключение

Сформулирована модель постепенных отказов привода прокатных валков широкополосных станов холодной прокатки по критерию износостойкости направляющих планок скольжения подушек рабочих валков. Она реализована в виде блочного алгоритма, который позволяет:

- рассчитывать текущий износ направляющих планок для условий будущей эксплуатации;
- выполнять теоретические исследования влияния конструктивных и технологических параметров на износостойкость исследуемых сопряжений, аналитически исследовать и выбирать наиболее эффективные варианты, обеспечивая требуемый уровень долговечности главного привода.

Список литературы

- 1. Техническая документация комплекса холодной прокатки ЛПЦ-11, OAO «ММК». – Магнитогорск, 2011. – 836 с.
- 2. Современная трибология: Итого и перспективы. Отв. ред. К.В. Фролоов. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 480 с.
- 3. Дроздов Ю.Н., Юдин Ю.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / под ред. Ю.Н. Дроздова. М.: «Эко-Пресс», 2010.-604 с.
- 4. Силаев Б.М. Трибология деталей машин в маловязких смазочных средах: монография. Самара: Изд-во Самарского гос. аэрокосмического ун-та, 2008. 264 с.

- 5. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jr.), V.P. Antsupov // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2013. № 5 (45). C. 62–66.
- 6. Анцупов А.В. (мл.) Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308 с.
- 7. Прогнозирование показателей надежности трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2010. Т. 1. С. 262—264.
- 8. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
- 9. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев: монография. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 387 с.
- 10. Структурно-энергетический подход к оценке фрикционной надежности материалов и деталей машин / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.) и др. // Материалы 66-й науч.-техн. конф.: сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2008. Т. 1. С. 258–262.
- 11. Хохлов В.М. Проектирование износостойких узлов трения скольжения. Брянск: ООО «ВИМАХО», 2004. 52 с.
- 12. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др. // Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
- 13. Амосов А.П. Теплофизические модели трения инертных и взрывчатых материалов. М.: Машиностроение, 2011. 363 с.

УДК 534.29:678.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЧАСТОТАХ НАГРУЖЕНИЯ

Бекренев Н.В., Злобина И.В.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Capamos, e-mail: nikolaj.bekrenev@yandex.ru, irinka 7 @mail.ru

Несмотря на комплекс преимуществ перед традиционными легкими и нержавеющими сплавами, композиционные материалы обладают недостатком, заключающимся в анизотропии физико-механических характеристик. Прогнозируемое широкое применение аддитивных технологий также имеет ограничение по прочности изделий из полимерных материалов. Решить указанные проблемы возможно, применяя местное упрочнение изделий путем формирования топологических структур, форма которых соответствует картине полей эксплуатационных напряжений. Однако конструктивные элементы существующих транспортных систем работают в условиях, когда вероятно действие динамических нагрузок, вызывающих вибрации, на устойчивость к которым отрицательно влияет исходная неоднородность структуры композиционных материалов. Выполнены экспериментальные исследования форм вынужденных колебаний при ультразвуковых частотах нагружения в образцах из различных композиционных материалов, в том числе сформированных при помощи аддитивных технологий. Установлено, что форма и интенсивность высокочастотных колебаний объекта из композиционного материала зависят от его плотности, ориентации и физико-механических свойств армирующих компонентов. Наиболее интенсивные колебания возникают при изгибающей сосредоточенной силе. Распределенная сила вызывает меньшие по интенсивности колебания, однако их форма сложнее и более четко зависит от особенностей структуры. Данные результаты необходимо учитывать при проектировании изделий из композиционных материалов и при выборе метода упрочнения, а также при их размещении в изделии.

Ключевые слова: ультразвук, затухание, композиционные материалы, изгибные и поверхностные волны, формы вынужденных колебаний

THE PILOT STUDY OF FORMS OF FORCED OSCILLATIONS OF PRODUCTS FROM COMPOSITION MATERIALS IN CASE OF ULTRASONIC FREQUENCIES OF LOADING

Bekrenev N.V., Zlobina I.V.

The Saratov State Technical University of Gagarin Yu.A., Saratov, e-mail: nikolaj.bekrenev@yandex.ru, irinka 7 @mail.ru

Despite a complex of advantages before traditional lungs and corrosion-proof alloys, composite materials possess the shortcoming consisting in anisotropy of physicomechanical characteristics. Predicted broad use of additive technologies also has restriction on durability of products from polymeric materials. It is possible to solve the specified problems, applying local hardening of products by formation of topological structures which form corresponds to a picture of fields of operational tension. However, structural elements of the existing transport systems work in conditions when action of the dynamic loads causing vibrations of stability it is probable to which negatively initial heterogeneity of structure of composite materials influences. Pilot studies of forms of the compelled fluctuations are made with ultrasonic frequencies of loading in samples of various composite materials including created by means of additive technologies. It is established that the form and intensity of high-frequency fluctuations of an object from composite material depend on its density, orientation and physicomechanical properties of the reinforcing components. The most intensity efluctuations arise with the bending concentrated force. The distributed force causes fluctuations, smaller on intensity, however their form more difficult and more accurately depends on features of structure. These results need to be considered at design of products from composite materials and at the choice of a method of hardening and also at their placement in a product.

Keywords: ultrasound, attenuation, composition materials, flexural and surface waves, forms of the compelled fluctuations

Анализ научно-технической литературы, материалов конференций и выставок свидетельствует об интенсивном развитии производства композиционных материалов на основе углеродных волокон и стеклотканей и их широком применении в авиационной, автомобильной, судостроительной промышленности, ветроэнергетике, строительстве. По данным исследовательской компании Grand View Research, объем мирового рынка углепластиков достигнет

к 2022 г. 23,55 млрд долл. Одними из основных потребителей композитов на основе углеродных волокон в промышленно развитых странах были и остаются ветроэнергетика, аэрокосмическая промышленность, а также автомобилестроение и строительство [1, 2]. Особенностью волокнистых полимерных композиционных материалов является влияние на физико-механические свойства технологии изготовления и существование материала только в виде изделия.

Типовая технология формирования армированных композиционных материалов заключается в послойной выкладке пропитанных связующим волокнистых структур с последующим прессованием и отверждением. Особенности данной технологии приводят к различным дефектам, в частности расслоениям, трещинам и др. [3, 4]. Также композиционные материалы характеризуются выраженной анизотропией физикомеханических характеристик, определяемой видом и ориентацией армирующих компонентов. При разработке и изготовлении изделий из композиционных материалов появляется возможность управлять его свойствами и снизить дефекты путем формирования определенной упрочняющей топологической структуры, форма которой соответствует действующим полям напряжений [5-7]. Определенные перспективы для реализации данного метода повышения прочностных характеристик изделий из композиционных материалов открываются с использованием аддитивных технологий [8–10], позволяющих формировать топологию практически любой определяемой математической моделью сложности.

В настоящее время из композиционных материалов изготавливают изделия, работающие в условиях динамических нагрузок и вибраций. Вибрации могут возникнуть, например, при попадании летательного аппарата в зону турбулентности, при внешне незначительных повреждениях, однако приводящих к дисбалансу вращающихся частей, при движении автомобильного транспорта по бездорожью. При этом распространение вибраций будет определяться не только размерами и формой конструктивного элемента, но и его внутренней структурой, состоящей из разнонаправлен-

ных армирующих волокон и полимерной матрицы. При использовании топологической оптимизации конструкции наличие в структуре армирующих областей с резко отличающимися от основного материала физико-механическими свойствами вносит еще более высокую неопределенность в распространение вибраций. На основании изложенного исследование форм собственных колебаний в композиционных материалах, в том числе с топологическими структурами, представляет собой важную задачу.

Цель исследования

Целью исследований явилось выявление форм вынужденных колебаний пластинчатых образцов из различных композиционных материалов при воздействии внешней силы с ультразвуковой частотой для определения опасных областей, требующих усиления конструкции в зависимости от схемы армирования композита.

Материалы и методы исследования

В экспериментах использовали образцы прямоугольной формы размерами 70х70 мм из углепластика с квазиизотропной структурой толщиной 5 мм, углепластика с квазиизотропной структурой толщиной 3,3 мм с проложенной в ней металлической сеткой, прессованного углепластика и прессованного стеклопластика толщиной 1,8 мм. Дополнительно проводили исследования образцов, сформированных методом 3D-печати на принтере Felix 3.1 Single Extruder из полимерной нити ABS стандартной толщины 1,75 мм по технологии FDM с размерами 120х40х7 мм. Изготавливали два типа образцов: однородный и с полостью, форма которой определялась путем компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния при растяжении. Полость послойно заполняли углеродным волокном производства ООО «Балаково Карбон Продакшн» (г. Балаково Саратовской обл.) и эпоксидной смолой ЭД-20 с отвердителем ПЭПА. Схемы нагружения образцов представлены на рис. 1.

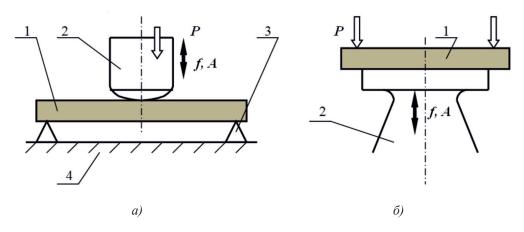


Рис. 1. Схемы нагружения образцов: 1 – образец; 2 – источник механических ультразвуковых колебаний; 3 – опоры; 4 – стол экспериментальной установки

По первой схеме (рис. 1, *a*) статическое нагружение в 30 Н осуществлялось сжатием пружины при воздействии инструмента на стол установки через образец. При данной схеме нагружения во время ультразвуковых колебаний возникающая динамическая сила вызывает изгибные колебания пластины.

Для визуализации колебаний поверхность пластины равномерно покрывали тонким слоем речного песка, просеянного через сито с проходным сечением 0,1 мм. Картина распределения слоя песка фиксировалась цифровым фотоаппаратом SMC Pentax Lens Optio L20. По второй схеме (рис. $1, \delta$) образец прижимали с усилием 30 Н к плоской торцовой поверхности волновода ультразвукового преобразователя, площадь которой составляла (80-85)% площади поверхности образца. При данной схеме нагружения ультразвуковые волны от пьезокерамического преобразователя проходят через границу раздела «волновод - пластина из композиционного материала» и возбуждают на внешней стороне образца поверхностные волны Лэмба. При этом происходит ослабление исходной энергии ультразвуковых колебаний за счет затухания волны, вследствие поглощения колебательной энергии структурой материала и ее рассеивания в объеме пластины. Нагружение образцов по схеме 1, а осуществляли при помощи экспериментальной ультразвуковой установки (рис. 2, а), по схеме $1, \, \delta$ – при помощи отдельного пьезокерамического преобразователя с дисковым волноводом (рис. $2, \delta$), обеспечивающим поверхностный подвод ультразвуковой энергии.

Во всех опытах резонансная частота колебаний преобразователя составляла 22350 Гц, амплитуда колебаний — 10 мкм. Визуализацию поверхностных волн осуществляли аналогично описанному выше методу. После образования устойчивой картины образец снимали с волновода для предотвращения распыления частиц и фотографировали. Образцы с топологической структурой размещали так, что слой песка наносился на полимерную сторону.

a)

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты экспериментов представлены на рис. 3 и 4.

На основе анализа полученных изображений можно сделать следующие выводы.

Форма и интенсивность высокочастотных колебаний зависят от плотности материала, ориентации и физико-механических свойств армирующих компонентов. Наиболее интенсивные колебания возникают при изгибающей вынуждающей сосредоточенной силе. Распределенная сила вызывает меньшие по интенсивности колебания, однако их форма сложнее и более четко зависит от особенностей структуры. При этом изгибные колебания пластин толщиной 5 мм приводят к образованию узловых сечений примерно по диагоналям пластины с дугообразными областями, подверженными волновым процессам. Пластина, армированная металлической сеткой, совершает интенсивные колебания, скорее всего на поверхности размещается половина волны с пучностью непосредственно в точке приложения вынуждающей силы. Этот вывод в целом согласуется с предположением о преимущественной роли металлической сетки в формировании области колебаний, так как размеры диагонали пластины близки параметрам половины длины волны для большинства металлов и сплавов с хорошей добротностью типа алюминия, стали, титана (120 мм).



б)

Рис. 2. Экспериментальная ультразвуковая установка (а) и пьезокерамический преобразователь (б)



Рис. 3. Визуализация ультразвуковых изгибных волн на поверхности образцов: квазиизотропного углепластика толщиной 5 мм (а); слоистого стеклопластика (б); термопластичного материала ABS толщиной 7 мм (в); термопластичного материала ABS с топологической структурой из армированного углеродными волокнами композиционного материала (г)

Относительно рыхлая структура слокомпозиционных материалов (рис. $3, \delta$) приводит к гашению ультразвуковых волн и их локализации в виде концентрических дуг окружности в окрестностях ультразвукового излучателя. При этом практически весь порошковый материал остается на пластине из-за недостатка мощности колебаний. Похожая картина наблюдается для образцов из пластика ABS. Однако для образцов со сформированной из углеродсодержащего композита топологией вид формы колебаний изменяется. В области топологии весь порошкообразный материал оказался удаленным интенсивными колебаниями образца, по-видимому, вследствие высоких упругих свойств композита, способствующих формированию пучности колебаний.

При возбуждении в образцах поверхностных волн распределенным по противоположной поверхности источником колеба-

ний формы волн в ряде случаев изменяются. Колебания локализованы по периферии пластин из квазиизотропного композита с формированием нескольких пучностей и узлов. Для слоистых композиционных материалов формы колебаний практически не изменились. В образцах из пластика ABS формируются по нескольку пучностей и узлов волн по периферии, включая контуры вырезов. При этом в образцах с топологией возникает интенсивная пучность в центральной части, где располагалась наиболее обширная по площади и объему структура композита.

Выводы

Таким образом, установлено, что форма и интенсивность высокочастотных колебаний зависят от плотности материала, ориентации и физико-механических свойств армирующих компонентов. Наиболее интенсивные колебания возникают при изги-

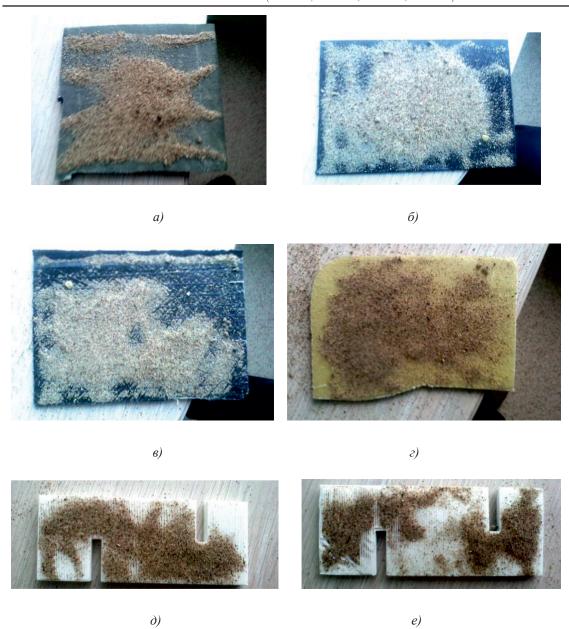


Рис. 4. Визуализация ультразвуковых поверхностных волн при прохождении колебаний через образец: квазиизотропного углепластика толщиной 5 мм (а); квазиизотропного углепластика толщиной 1,7 мм, армированного металлической сеткой (б); прессованного углепластика (в); прессованного стеклопластика (г); термопластичного материала ABS толщиной 7 мм (д); термопластичного материала ABS с топологической структурой из армированного углеродными волокнами композиционного материала (е)

бающей вынуждающей сосредоточенной силе. Распределенная сила вызывает меньшие по интенсивности колебания, однако их форма сложнее и более четко зависит от особенностей структуры. Данные результаты необходимо учитывать как при проектировании изделий из композиционных материалов, так и при выборе того или иного метода упрочнения, а также при их разме-

щении в объекте. Для количественной оценки влияния структуры и схемы армирования композиционных материалов на их склонность к вынужденным колебаниям высокой частоты необходимо проведение исследований поглощения энергии вибраций при помощи виброизмерительной аппаратуры в сопоставлении со схемой армирования с учетом плотности материала.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-03-00720 «Методология оптимизационного микроконструирования композиционных материалов для объектов сложной формы повышенной динамической прочности, послойно формируемых электротехнологическими методами».

Список литературы

- 1. Кошкин Р.П. Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем [Электронный ресурс]. URL: http://spmagazine.ru/420 (дата обращения: 28.11.2017).
- 2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники / Е.Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. -2012. -T. 82, № 6. -C. 520-530.
- 3. Лобанов Д.С. Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств полимерных композиционных материалов и панелей с заполнителем: дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2015. 130 с.
- 4. Гусева Р.И. Особенности изготовления тонкостенных обшивок из углепластика в самолетостроении. Изменение технологических параметров в процессе формования / Р.И. Гусева, Ша Мингун // Ученые записки Комсомольского-

- на-Амуре государственного технического университета. 2014. № II-1 (18). С. 4–12.
- 5. Tsuyoshi N., Ercan M. D., Tadayoshi M., Atushi K. Simultaneous Optimization of Topology and Orientation of Anisotropie Material using Isoparametric Projection Method // 11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization 7th-12th, June 2015, Sydney, Australia.
- 6. Павлов С.П. Оптимальное армирование стержней в задачах кручения / С.П. Павлов, М.В. Жигалов, Т.С. Балабуха // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. Межвузовский научн. сб. Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. С. 151—157.
- 7. Павлов С.П. Влияние свойств межфазового слоя на эффективные механические характеристики нанокомпозитов / С.П. Павлов, Р.С. Пальков // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов (DFMN-2013): материалы V междунар. науч. конф., г. Москва, 2013. С. 554–556.
- 8. Ehrenberg R. The 3-D Printing Revolution: Dreams Made Real One Layer at a Time, Science News. 2013. Vol. 183 [5]. P. 20–25.
- 9. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015.-220 с.
- 10. Wohlers Report 2012. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report. 2012. 286 p.

УДК 004.421/.4'2/.771

ОЦЕНКА МАСШТАБИРУЕМОСТИ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БУЛЕВОЙ ВЫПОЛНИМОСТИ

Богданова В.Г., Горский С.А.

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, Иркутск, e-mail: gorsky@icc.ru

Рассматривается эффективность применения сервис-ориентированного приложения для параллельного решения задач булевой выполнимости в распределенной вычислительной среде. Для распараллеливания на подзадачи используется декомпозиция по данным с помощью метода расщепления исходной булевой функции. Приводится архитектура и функциональные возможности MPI-приложения, на основе которого реализован сервис. MPI-приложение использует стратегию «master-slave» для распределения задач по процессам. Рассматриваются факторы, влияющие на время выполнения приложения. Исследуется зависимость эффективности приложения от ряда динамических характеристик. Одной из основных обобщающих характеристик является масштабируемость приложения. Приводится зависимость масштабируемости от параметров запуска приложения — размерности задачи, количества процессорных ядер, нагрузки на дочерние процессы. Оценивается масштабируемость приложения для задач разного класса. Приводится сравнение разработанного приложения с массовым параллельным решателем HordeSat. Обсуждаются результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: масштабируемость, эффективность, задача булевой выполнимости, параллельный решатель, сервис

EVALUATION OF SERVICE-ORIENTED APPLICATION SCALABILITY FOR SOLVING BOOLEAN SATISFIABILITY PROBLEMS

Bogdanova V.G., Gorskiy S.A.

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, e-mail: gorsky@icc.ru

We examine the effectiveness of service-oriented application for parallel solving Boolean satisfiability problems in a distributed computing environment. We use data decomposition based on the method of splitting the original Boolean function. The architecture and functionality of the MPI application implemented as a service are described. The «master-slave» strategy is used by the MPI application for allocation of tasks to processes. Factors affecting the execution time of the application are discussed. We study the dependence of the application efficiency on a number of dynamic characteristics. The application scalability is one of the major generalizing characteristics. The dependence of the scalability on the following application running parameters is given: the problem dimension, the processor cores number and the child processes load. The application scalability for different classes of Boolean satisfiability problems is evaluated. A comparison of the developed application with massive parallel solver HordeSat is provided. The results of computational experiments are discussed.

Keywords: scalability, efficiency, Boolean satisfiability problem, parallel solver, service

Парадигма сервис-ориентированных вычислений активно используется в настоящее время для стандартизации доступа, интеграции и координирования слабосвязанных программных систем посредством создания дополнительного уровня webсервисов на основе существующих научных приложений [1]. Такая тенденция актуализирует разработку инструментальных средств автоматизации создания и подфункционирования сервис-оридержки ентированных параллельных приложений пользователя, выполняющихся в распределенной гетерогенной вычислительной среде. Разработка таких программных средств ориентирована как на повышение скорости решения задачи пользователя, так и на увеличение ее размерности. Масштабируемость приложения является одним из основных требований, предъявляемых к программной разработке. В настоящей

статье под масштабируемостью будем понимать свойство параллельной программы, характеризующее зависимость изменения динамических характеристик ее работы от изменения параметров запуска этого приложения [2]. Цель работы заключается в исследовании масштабируемости разработанного сервис-ориентированного приложения для решения обладающих высокой вычислительной сложностью задач булевой выполнимости, предназначенного для применения при проведении фундаментальных и прикладных исследований, имеющих дело с отображениями, области определения и значений которых лежат в пространствах векторов с двоичными компонентами B_2^n ($B_2 = \{0, 1\}$) [3]. Булевы модели представлены в конъюнктивной нормальной форме (КНФ).

Для оценки масштабирования использован предложенный в работе [2] подход, рас-

сматривающий масштабируемость приложения как многомерную функцию от большого числа параметров запуска. Приведенная в [2] методика получения оценки масштабируемости, учитывающая зависимость эффективности приложения от параметров запуска, применена при исследовании качества работы приложения для различных классов задач булевой выполнимости. В дополнение к исследованию зависимости от количества процессов и размерности задачи для класса случайных ЗКНФ анализируется влияние третьего параметра (нагрузки на дочерние процессы MPI-приложения).

Постановка задачи

Задача булевой выполнимости («выполнимости КНФ» или «задача SAT») есть, по существу, задача распознавания совместности системы уравнений [4]

$$x_{i_1}^{\sigma_{i_1}} \vee \ldots \vee x_{i_{k(i)}}^{\sigma_{i_{k(i)}}} = 1, (i = 1, \ldots, m),$$
 (1)

гле переменная

$$x_{i_p}^{\sigma_{i_p}} = \begin{cases} \overline{x}_{i_p} \text{ при } \sigma_{i_p} = 0 \\ x_{i_p} \text{ при } \sigma_{i_p} = 1 \end{cases}, p = \overline{1, k(i)}.$$

Требуется найти решение системы (1) либо установить ее несовместность.

В работе [3] приведен обзор исследований по разработке технологий, методов и средств параллельного решения задач SAT для различных типов архитектур многопроцессорной техники. В зависимости от реализуемого подхода в многообразии современных параллельных программных средств решения этой задачи можно выделить два семейства – решатели, использующие кооперацию, и решатели, использующие конкуренцию. В настоящей работе исследуется масштабируемость сервис-ориентированного приложения, реализованного на основе разработанного авторами решателя hpcsat [5], относящегося к первому семейству.

Параллельный решатель

решатель Массовый параллельный hpcsat представляет собой MPI-приложение на языке С++ и предназначен для параллельного решения ресурсоемких задач булевой выполнимости большой размерности на вычислительных кластерах с SMP узлами. Решатель hpcsat реализован на основе метода полного поиска и использует параллелизм по данным. Главный процесс приложения организует динамическую очередь подзадач, получаемых в результате декомпозиции исходной булевой модели методом расщепления [6]. В дочернем процессе может выполняться как многопоточное, так и однопоточное приложение. В качестве таких приложений используются параллельные, реализованные с использованием технологии работы с общей памятью, и последовательные SAT решатели. Запускаемые в дочернем потоке sat-решатели называются базовыми. Они предназначены для определения выполнимости остаточной функции, полученной в результате расщепления исходной булевой функции. В дочернем потоке также запускаются и программы препроцессорной обработки остаточной булевой функции, упрощающие функцию путем применения правил преобразования, используемых в DPLL-алгоритмах — удаления единичных дизьюнктов, чистого литерала, резолюции и т.д. [7].

Остаточные булевы функции после препроцессорной обработки могут оказаться существенно отличающимися по вычислительной сложности. Поэтому главный процесс регулирует загрузку дочерних процессов, чередуя отправление заданий на упрощение и решение остаточных функций в ответ на запрос дочернего процесса, в зависимости от состояния очереди и дерева расщепления. Описание алгоритма hpcsat приведено в работе [5]. Пользователю предоставляется возможность установки опциональных параметров запуска приложения - количества процессоров, размера блока подзадач для дочернего процесса (нагрузка дочернего процесса), эвристики расщепления, глубины расщепления и базового решателя, запускаемого в дочернем процессе.

Для оценки качества работы hpcsat был проведен ряд экспериментов, в которых для определения масштабируемости менялись параметры запуска приложения при решении набора тестовых задач. Для сравнения с hpcsat использовался массовый параллельный решатель HordeSat [8] со свободно предоставляемым кодом.

Вычислительные эксперименты

Для экспериментов были выбраны классическая задача искусственного интеллекта о голубях и клетках [9] и блок случайных ЗКНФ, в состав которого входили 200 выполнимых и 200 невыполнимых SAT задач [10]. Время решения одной задачи было ограничено соответственно сорока восемью и тридцатью шестью тысячами секунд. В невыполнимой задаче о голубях и клетках (Hole11, ..., Hole15) требуется посадить в nклеток (n + 1)-го голубя так, чтобы в каждой клетке сидел ровно один голубь. За размерность задачи о голубях принимается величина п, при этом количество булевых переменных равняется $n \times (n + 1)$. В тестовых примерах n = 11, ..., 15. Размерность случайных ЗКНФ определяется количеством булевых переменных.

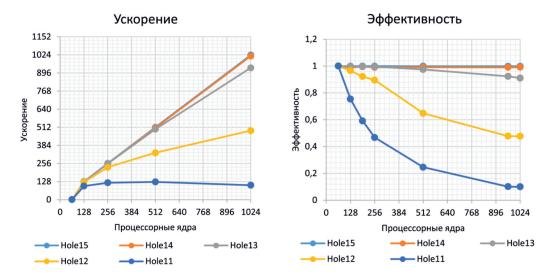


Рис. 1. Ускорение и эффективность hpcsat при решении задачи о голубях и клетках

Задачи решались на вычислительном кластере «Академик В.М. Матросов» [11]. Отличительными особенностями выполнимых SAT задач является, во-первых, то, что подзадачи, полученные при декомпозиции по данным, могут существенно отличаться по структуре и по времени выполнения в зависимости от тех переменных, по которым происходило расщепление исходной функции. Во-вторых, при нахождении выполняющего набора при решении одной из подзадач остальные снимаются со счета. Это обстоятельство объясняет ситуации, когда задача большей размерности при равных ресурсных возможностях решается быстрее. Эксперименты были проведены для получения времени решения на разном количестве ядер для задач разной размерности.

Анализ результатов

Полученные экспериментальные результаты оценивались следующим образом:

- проведено вычисление характеристик ускорения и эффективности;
- проведено вычисление метрик масштабируемости по методике [2];
- применена расширенная методика для случайных 3КНФ.

Ускорение (S) и эффективность (E) вычислялись по формулам

$$S = \frac{T_{64} \cdot 64}{T_p}, E = \frac{S}{p},$$

где T_{64} и T_p — время решения задачи на 64-х и на p процессорных ядрах соответственно. За единицу принимаются 64 процессорных ядра, так как это минимальное количество, на котором мог быть решен ряд тестовых задач в пределах допустимого интервала времени. Такой подход при оценке ускорения и эффек-

тивности применяется достаточно часто (например, [12, 13]) и объясняет незначительное превышение единичного уровня эффективности в вычислениях [12]. Изменения ускорения и эффективности для задачи о голубях, характеризующие масштабируемость разработанного параллельного приложения hpcsat при решении этой задачи, приведены на рис. 1. По рисунку видно, что при увеличении размерности и количества процессорных ядер ускорение становится линейным, а эффективность близка к единице, что показывает хорошую масштабируемость hpcsat.

Вычисление метрик масштабируемости

Согласно [2] используются метрики: минимальное и максимальное значения количества процессорных ядер (min (p), max (p)), размерности задачи $(\min(d), \max(d))$ и эффективности $(\max(E), \min(E))$, величина влияния (вклад) на изменение масштабируемости при увеличении количества процессорных ядер (MarkProcs), размерности задачи (MarkData) и обобщенный вклад (MarkAll). Кратко опишем методику из [2] применительно к анализу влияния на изменение эффективности hpcsat двух параметров запуска (количества процессорных ядер и размерности задачи), изменив немного обозначения для удобства изложения в следующем разделе при описании вычисления метрик для трех параметров. Вся область параметров запуска приложения разбивается на отдельные элементы, эффективность которых представлена вектором

$$E_{i} = \{e_{p_{i}d_{i}}, e_{p_{i}d_{i}^{+}}, e_{p_{i}^{+}d_{i}^{-}}, e_{p_{i}^{+}d_{i}^{+}}^{-}\}, i = \overline{1, n_{d}n_{p}}, (2)$$

где p_i соответствует количеству процессоров, d_i – размерности задачи i-того элемента; n_d и n_p – количество значений процессор-

ных ядер и размерностей задач, для которых проводились эксперименты; знак «+», используемый в качестве верхнего индекса, обозначает следующее за p_i или d_i значение. Вычисленные по результатам экспериментальных данных значения эффективности

для всех элементов E_i группируются в таблицу в соответствии с [2]. Для каждого элемента вычисляются значения приращений эффективности Δe_{ij}^P и Δe_{ij}^d по каждому параметру. Остальные метрики вычисляются следующим образом:

$$MarkProcs = \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{p}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \Delta e_{ij}^{p} (p_{ij}^{+} - p_{ij}) / (\max(p) - \min(p)),$$

$$MarkData = \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{d}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \Delta e_{ij}^{d} (d_{ij}^{+} - d_{ij}) / (\max(d) - \min(d)),$$

$$MarkAll = \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{p}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \frac{((\Delta e_{ij}^{p} + \Delta e_{ij}^{d}) / 2)(p_{ij}^{+} - p_{ij})(d_{ij}^{+} - d_{ij})}{(\max(p) - \min(p))(\max(d) - \min(d))}.$$
(3)

Метрика MarkProcs определяет интенсивность изменения эффективности с увеличением количества процессорных ядер при фиксированной размерности (вычислительной сложности) задачи. Метрика MarkData показывает интенсивность изменения эффективности при увеличении размерности задачи на одном и том же количестве ядер. Метрика MarkAll отражает общее влияние обоих параметров запуска [2].

Оценка масштабируемости для задачи о голубях и клетках

При обработке результатов вычислительных экспериментов для задачи о голубях и клетках получены следующие значения метрик:

$$min(p) = 64; max(p) = 1024;$$

 $min(d) = 12; max(d) = 15;$
 $min(E) = 0,09812; max(E) = 1,06656;$
 $MarkProcs = -0,0001617;$
 $MarkData = 0,002299;$
 $MarkAll = 0,00001188.$

Для задачи о голубях и клетках эффективность постепенно уменьшается с увеличением количества ядер при постоянной сложности задачи, увеличение размерности при фиксированном числе процессорных ядер приводит к увеличению эффективности. Изменение эффективности при одновременном увеличении обоих параметров запуска остается положительным. Эффективность в данном случае зависит от двух величин, т.е. является функцией от количества процессорных ядер и размерности задачи $f_o(p, d)$.

В результате аппроксимации экспериментальных данных, представляющих табличное задание функции эффективности, с величиной

достоверности аппроксимации $R^2 = 0.928296$ получен следующий вид функции:

$$f_e(p,d) = (-0.0254d^2 + 0.7422d - 5.4205)\ln(p) + 0.091d^2 - 2.6973d + 20.97.$$
(4)

Положив значение функции $f_e(p, d)$ равным требуемому уровню эффективности и проведя преобразования, получим выражение, показывающее зависимость размерности задачи от количества процессорных ядер:

$$d_{1,2} = \left[\frac{-g_2(p) \pm \sqrt{[g_2(p)]^2 - 4g_1(p)g_3(p)}}{2g_1(p)} \right],$$

где

$$g_1(p) = -0.0262 \ln p + 0.0974,$$

 $g_2(p) = 0.7589 \ln p - 2.8433,$
 $g_3(p) = -5.4988 \ln p + 21.796 - k_e,$

 $0 < k_e < 1$ – константа, задающая требуемый уровень эффективности; p = 64,65,... – количество процессорных ядер (начинает изменяться от 64, так как это значение является условной единицей - наименьшим количеством ядер, начиная с которого проводились эксперименты). Подставив значение k и p в формулу, получим нижнее и верхнее значения размерности задачи, при которых сохраняется (приблизительно) требуемый уровень эффективности. При включении в формулу (4) (в правую часть в качестве дополнительных слагаемых pMarkProas + dMarkData + pdMarkAll) приведенных выше метрик точность аппроксимации улучшается до $R^2 = 0.99988$. Соответствие поверхностей (построенной по экспериментальным данным и заданной функцией f(p, d)) приведено на рис. 2.

Таким образом, повышение размерности обеспечивает требуемый уровень эффективности при увеличении количества процессорных ядер для регулярной SAT задачи.

На рис. 3 приведены результаты, показывающие значительно лучшее (меньшее) время решения задачи о голубях решателем hpcsat в сравнении с HordeSat. Решить с помощью HordeSat задачи Hole14 и Hole15 за приемлемое время не удалось.

Оценка масштабируемости для случайных ЗКНФ

Обобщенные результаты решения тестовых 3КНФ задач приведены в табл. 1. Решатель HordeSat не справился с рядом невыполнимых SAT задач за отведенное для тестирования время выполнения на одну задачу (36000 секунд). Рассмотрим факторы влияния на эффективность решения таких задач для hpcsat.

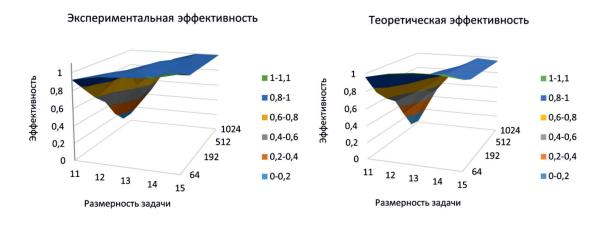


Рис. 2. Зависимость эффективности hpcsat om двух параметров запуска, размерности задачи (ось х) и количества процессорных ядер (ось у)

 Таблица 1

 Статистика выполнения тестовых 3КНФ (время приведено в секундах)

Решатель	Общее время выполнения		Среднее время выполнения			Число решенных задач			
	Количество ядер Количество ядер		пичество ядер		Количество ядер		Количество ядер		
	64	256	512	64	256	512	64	256	512
hpcsat	138430,6	76320,24	69310,05	692,15	381,6	346,55	200	200	200
HordeSat	680934,9	776154,2	2484340	3404,67	3880,77	12422	196	186	132

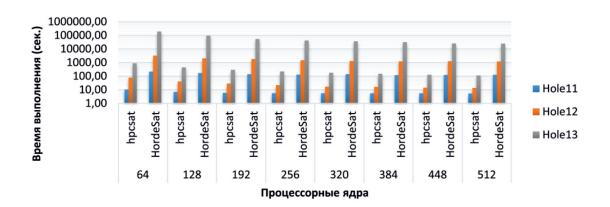


Рис. 3. Время решения задачи о голубях и клетках для n = 11, 12, 13

Для рассматриваемых задач время решения превышало 1500 секунд на 64 процессорных ядрах. В качестве динамических характеристик при оценке масштабируемости hpcsat использовались количество процессорных ядер и размерность задачи. Результаты вычисления метрик с разным значением нагрузки l для решателя hpcsat приведены в табл. 2. Значения метрик, характеризующих область, на которой производились оценки, следующие:

$$min(p) = 64; max(p) = 512;$$

 $min(d) = 400; max(d) = 440;$
 $min(E) = 0.25; max(E) = 1.19.$

 Таблица 2

 Изменение эффективности в зависимости от p и d при разной нагрузке для невыполнимых SAT задач

Нагрузка	MarkProcs	MarkData	MarkAll
1	-0,00956	-0,07615	-0,00911
4	-0,00371	-0,06357	-0,00768
16	-0,00154	-0,04019	-0,00489
64	0,000452	-0,02908	-0,00332

По результатам, приведенным в таблице, видно, что с увеличением количества процессорных ядер и размерности эффективность постепенно снижается. Увеличение нагрузки уменьшает снижение эффективности. При l = 64 увеличение количества процессорных ядер повышает эффективность, при этом уменьшение эффективности, определяемое метриками MarkData и MarkAll, снижается (рис. 4). По рисунку видно, что действительно, увеличение нагрузки повышает эффективность. Так, если при l = 1 наблюдалось ее снижение до уровня 0,2-0,4 (рис. 4. а), то при l = 4 наименьшая эффективность возрастает до 0,4-0,6 (рис. 4,6), при l=16этот уровень почти пропадает (рис. 4, в), при l = 64 эффективность в основном держится на уровне 0,8-1 (рис. $4, \Gamma$).

Введем в примененную выше методику [2] дополнительный расчет метрики MarkLoad, показывающей интенсивность и направление изменения эффективности в границах рассматриваемых параметров по направлению увеличения нагрузки *l* на дочерний процесс – размер блока подзадач. Тогда вектор (1) будет содержать следующие компоненты:

$$E = \{e_{p_i d_i l_i}, e_{p_i d_i l_i}, e_{p_i d_i l_i}, e_{p_i d_i l_i}, e_{p_i d_i l_i}, e_{p_i^* d_i l_i}, e_{p_i^* d_i l_i}, e_{p_i^* d_i^* l_i}, e_{p_i^* d_i^* l_i}, e_{p_i^* d_i^* l_i}\}, i = \overline{1, n_d n_p n_l}$$

где n_l — количество значений нагрузки. При вычислении метрик приращение $\Delta e_{ijk}^{\ l}$ будет вычисляться аналогично приращениям количества процессорных ядер $\Delta e_{ijk}^{\ p}$ и размерности задачи $\Delta e_{ijk}^{\ d}$. Остальные метрики (с соответствующими изменениями в (3)) будут вычисляться по следующим формулам:

$$\begin{aligned} MarkProcs &= \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{p}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \sum_{k=1}^{n_{l}} \Delta e_{ijk}^{p} (p_{ijk}^{+} - p_{ijk}) / (\max(p) - \min(p)), \\ MarkData &= \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{d}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \sum_{k=1}^{n_{l}} \Delta e_{ijk}^{d} (d_{ijk}^{+} - d_{ijk}) / (\max(d) - \min(d)), \\ MarkLoad &= \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{d}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \sum_{k=1}^{n_{l}} \Delta e_{ijk}^{l} (l_{ijk}^{+} - l_{ijk}) / (\max(l) - \min(l)), \\ MarkAll &= \frac{1}{n_{p}n_{d}} \sum_{i=1}^{n_{p}} \sum_{j=1}^{n_{d}} \sum_{k=1}^{n_{l}} \frac{((\Delta e_{ijk}^{p} + \Delta e_{ijk}^{d}) / 3)(p_{ijk}^{+} - p_{ijk})(d_{ijk}^{+} - d_{ijk})(l_{ijk}^{+} - l_{ijk})}{(\max(p) - \min(p))(\max(d) - \min(d))(\max(l) - \min(l))}. \end{aligned}$$

В результате получим общее снижение эффективности *MarkAll* на два порядка меньше по сравнению с результатами, приведенными в табл. 2:

$$MarkProcs = -0,030132;$$

 $MarkData = -0,00482;$
 $MarkLoad = 0,0099931;$
 $MarcAll = -0,0000827.$

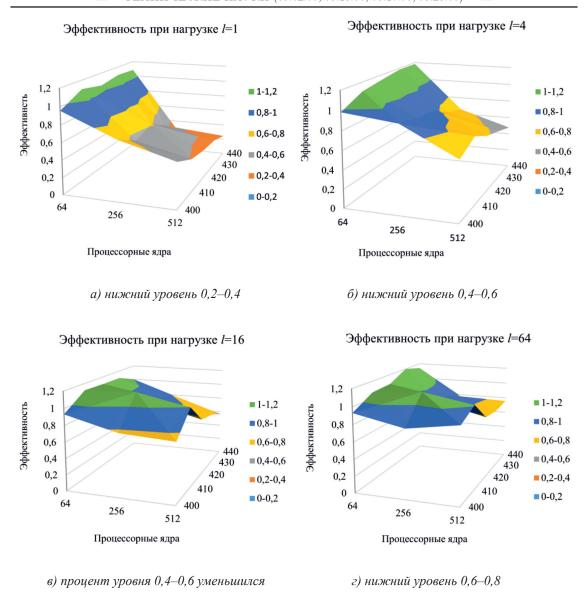


Рис. 4. Изменение эффективности при увеличении количества ядер от 64 до 512 (ось x) для невыполнимых ЗКНФ размерности от 400 до 440 (ось y) при разной нагрузке на дочерние процессы

Оценку метрик масштабируемости HordeSat для этого класса задач на рассматриваемом интервале получить не удалось, так как на 256 процессорных ядрах была решена только часть задач, на 512 ядрах — ни одной.

Тестирование показало, что для выполнимых 3КНФ, наоборот, лучшие результаты получаются при единичной нагрузке. В этом случае вместо избыточности подзадач в hpcsat используется параметр, регулирующий выравнивание по размеру остаточных КНФ, получаемых при расщеплении исходной булевой функции. Более подробное изложение оценки влияния этого

параметра представляет собой материал для описания следующего исследования. В данной статье приведем сравнительную оценку hpcsat и HordeSat на всем наборе случайных выполнимых 3КНФ с использованием метрик без учета этого параметра (табл. 3).

Таблица 3 Оценки зависимости эффективности от p и d для выполнимых $3\text{KH}\Phi$

Решатель	MarkProcs	MarkData	MarkAll
hpcsat	-0,05682	-0,03428	-0,00456
HordeSat	-0,12876	-0,04733	-0,0088

Остальные метрики области параметров запуска имеют следующие значения:

$$min(p) = 64; max(p) = 512;$$

 $min(d) = 250; max(d) = 440;$
 $min(E) = 0,025; max(E) = 1,39.$

При решении случайных выполнимых 3КНФ эффективность довольно быстро начинает уменьшаться при увеличении как количества процессоров, так и размерности задачи. Накладные расходы HordeSat, понижающие эффективность, связаны с обменом наборами конфликтных дизьюнктов. Решатель hpcsat не использует такой обмен, однако время выполнения зависит от того, когда из очереди запустится подзадача, содержащая решение, тем не менее эффективности hpcsat для данного класса задач несколько лучше.

В целом на основании представленных оценок можно сделать вывод о достаточно хорошей масштабируемости hpcsat, особенно при решении SAT задач, имеющих регулярную структуру, когда булева модель задана аналитически. На основе решателя hpcsat разработан сервис для решения задач булевой выполнимости [14]. Таким образом, обеспечивается свойство горизонтальной масштабируемости при работе в распределенной вычислительной среде (РВС). Интеграция с дополнительным вычислительным узлом, включаемым в эту среду, для использования его ресурсов осуществляется путем установки на этот узел конфигурируемого hpcsomas-агента [15].

Заключение

Выполнена оценка масштабируемости разработанного массового параллельного решателя hpcsat. Выявлены параметры запуска решателя, влияющие на эффективность решения SAT задач трех классов — невыполнимых задач, имеющих регулярную структуру, случайных выполнимых и невыполнимых 3КНФ. Проведено сравнение с существующим параллельным SAT решателем, подтверждающее эффективность hpcsat.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 15-29-07955-офи_м.

Список литературы

- 1. Kandaswamy, Gannon D. A Mechanism for Creating Scientific Application Services Ondemand from Workflows // Proceedings of the 2006 International Conference Workshops on Parallel Processing. 2006. P. 25–32.
- 2. Теплов А.М. Об одном подходе к сравнению масштабируемости параллельных программ // Вычислительные методы и программирование. 2014. Т. 15, Вып. 4. С. 697—711.
- 3. Бычков И.В., Опарин Г.А., Богданова В.Г., Горский С.А., Пашинин А.А. Мультиагентная технология автоматизации параллельного решения булевых уравнений в распределенной вычислительной среде // Вычислительные технологии. -2016. Т. 21, № 3. С. 5-17.
- 4. Горшков С.П. Применение теории NP-полных задач для оценки сложности решения систем булевых уравнений // Обозрение прикладной и промышленной математики, серия дискретной математики. 1995. Т. 2. Вып. 3. С. 325–398.
- 5. Горский С.А., Богданова В.Г. Гибридный satрешатель hpcsat // Информационные и математические технологии в науке и управлении: труды XIX Байкальской Всерос. конф. с междунар. участием. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – С. 81–88.
- 6. Данцин Е.Я. Алгоритмика задачи выполнимости // Вопросы кибернетики. Проблемы сокращения перебора. М.: АН СССР, 1987. С. 7–29.
- 7. Поцелуевская Е.А. Теоретическая и практическая сложность задач выполнимости булевых формул // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2009. Т. 13, № 1–4. С. 455–476.
- 8. Balyo T., Sanders P., Sinz C. HordeSat: A Massively Parallel Portfolio SAT Solver // Theory and Applications of Satisfiability Testing SAT 2015. Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9340. P. 156–172.
- 9. Хакен А. Труднорешаемость резолюций. Кибернетический сборник. Новая серия. Сб. статей за 1988-1990 г. М.: Мир. 1991. Вып. 28. 206 с.
- 10. HordeSat and HordeQBF Massively Parallel SAT/QBF Solvers, URL: http://baldur.iti.kit.edu/hordesat (дата обращения: 15.11.2017).
- 11. Иркутский суперкомпьютерный центр CO PAH. URL: http://hpc.icc.ru/ (дата обращения: 15.11.2017).
- 12. Багдасаров Г.А., Дьяченко С.В., Ольховская О.Г. Измерение производительности и масштабируемости программного комплекса MARPLE3D // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. № 37. 22 с. URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-37.
- 13. Kishimoto A. Fukunaga A., Botea A. Evaluation of a simple, scalable, parallel best-first search strategy // Artificial Intelligence. 2013. V. 195. P. 222–248.
- 14. Богданова В.Г., Горский С.А., Пашинин А.А. Сервис-ориентированные инструментальные средства для решения задач булевой выполнимости // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–6. С. 1151—1156.
- 15. Bychkov I.V., Oparin G.A., Bogdanova V.G., Pashinin A.A., Gorsky S.A. Automation Development Framework of Scalable Scientific Web Applications Based on Subject Domain Knowledge // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10421. P. 278–288.

УДК 69.05

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Глухова Л.Р., Фетисова М.А.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, e-mail: lili4ka 08 04@mail.ru, fetisovamaria@mail.ru

В статье идет речь об объекте строительства, который обладает различными физическими, механическими, эстетическими и другими свойствами, которые способны изменяться со временем. Его качество включает в себя: качество организации, технологическое оборудование (ПСМ), экономический анализ, технологию производства, организации контроля, экологические особенности, этические нормы, правовые отношения. Проследить процессы формирования качества можно на стадии планирования, реализации и контроля. Одним из главных факторов, влияющих на процесс формирования качества строительной продукции, является парк строительных машин генподрядной организации, его титульный и количественный состав. Строительные машины и механизмы задействованы на протяжении всего периода возведения здания или сооружения. Эффективность машины определяется техническим уровнем и количественной оценкой, эффективное применение ПСМ подразумевает использование строительных машин с высокой производительной способностью, минимизацию простоев. Загруженность строительного оборудования напрямую зависит от объема СМР, исполняемых подрядной или субподрядной организацией. Способы повышения эксплуатационной производительности машины: организационные мероприятия, уменьшающие потери рабочего времени, и конструктивные решения, улучшающие технологический процесс.

Ключевые слова: строительный объект, парк строительных машин, факторы эффективности ПСМ, строительная техника, производительность строительной машины

DEPENDENCE OF QUALITY OF CONSTRUCTION PRODUCTS FROM INDICATORS OF EFFICIENCY OF WORK OF CONSTRUCTION EQUIPMENT

Glukhova L.R., Fetisova M.A.

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, e-mail: lili4ka_08_04@mail.ru, fetisovamaria@mail.ru

The article deals with the construction object, which has various physical, mechanical, aesthetic and other properties that can change with time. Quality, which includes: the quality of the organization, technological equipment (PSM), economic analysis, production technology, control organization, environmental features, ethical standards, legal relations. Trace the processes of quality formation can be at the planning, implementation and monitoring stage. One of the main factors affecting the process of forming the quality of construction products is the fleet of construction machines of the general contractor organization, its title and quantity composition. Construction machines and mechanisms are involved throughout the entire period of the erection of the building or structure. The effectiveness of the machine, determined by the technical level and quantification, the effective use of PSM implies the use of construction machines with high production capacity, minimizing downtime. The load of construction equipment directly depends on the volume of construction and installation work performed by a contractor or subcontractor. Ways to improve the operational performance of the machine: organizational measures that reduce the loss of working time, and constructive solutions that improve the technological process.

Keywords: building object, park of construction machines, efficiency factors of PSM, construction equipment, productivity of construction machinery

В строительной индустрии увеличение производительности инвестиционной деятельности на сегодняшней стадии становления экономики достигается совершенствованием качества строительного процесса. Строительство зданий и сооружений - трудоемкий процесс, который предъявляет высокие требования к исполнителю, начиная от первоначальной стадии - разработки проектной документации, до завершающей стадии - сдачи объекта в эксплуатацию. Данный результат может быть достигнут при совместной, слаженной работе проектных институтов, подрядных и субподрядных организаций, контроля и мониторинга всех этапов проектной и строительной

деятельности, а также механизированных участков или управлений механизации, имеющих парк строительных машин, применяемых при выполнении строительных работ. Строительство — сложный процесс, состоящий из множества этапов с применением огромного количества строительной техники, результативность применения которой является основной проблемой, влияющей на качество строительной продукции.

Объект строительства обладает различными физическими, механическими, эстетическими и другими свойствами, которые способны изменяться со временем [1, 2]. Вид — устойчивая целостная структура, создающая общность образа объекта. На-

дежность — свойство объекта сохранять требуемые эксплуатационные и качественные показатели во времени в зависимости от установленных требований. Долговечность — свойство объекта, позволяющее сохранять работоспособность и безотказность в определенных условиях в течение заданного срока службы. Ремонтопригодность — восстановление, исправление и сохранение заданных характеристик, заложенных в продукции. Ликвидность — свойство объекта сохранять рыночную стоимость. Таким образом, свойства, признаки и характеристики продукции позволяют дать ей качественную оценку [3].

Понятие качество является многогранным (рис. 1) и включает в себя: качество организации, технологическое оборудование (ПСМ), экономический анализ, технологию производства, организацию контроля, экологические особенности, этические нормы, правовые отношения и т.д. Каждая составляющая вносит свой вклад в формирование общего качества продукции [4, 5].

Проследить процессы формирования качества можно на стадии планирования, реализации и контроля. На первом этапе ставятся цели и пути достижения этих целей, намечаются определенные планы и программы. После планирования приступают

к реализации проекта, на этом этапе происходит преобразование намеченных ранее результатов. На третьем проводится проверка соответствия результата фактического запланированному. Все три стадии формирования качества плотно связаны друг с другом и являются необходимыми. Важно отметить, что для достижения оптимального эффекта от работы этих трех элементов должны быть налажены каналы обратной связи.

Внесение изменений и корректировок в управление качеством невозможно без информационного канала. В истории развития строительной индустрии постоянно происходили изменения технической оснастки, структуры и характера производства и рыночных отношений, но все три элемента качества всегда существовали и всегда существовала обратная связь между ними.

Важно научиться предупреждать дефекты и несоответствия в формировании продукции начиная со стадии проектирования и конструкторской разработки, так как обнаружение и исправление несоответствий в проектной документации у заказчика – это 10% потеря денежных средств. Стоимость устранения дефектов при производстве увеличивается в несколько раз по отношению к тем 10% и может составить до 60% и более от реализации проекта.



Рис. 1. «Петля качества» строительной продукции: 1 – потребление; 2 – производство

Одним из главных факторов, как было отмечено ранее, влияющих на процесс формирования качества строительной продукции, является парк строительных машин генподрядной организации, его титульный и количественный состав. Строительные машины и механизмы задействованы на протяжении всего периода возведения здания или сооружения. При производстве СМР строительные механизмы выполняют различные строительные работы, начиная от разработки грунта при производстве подземного цикла; подъем, перемещение конструкций, материалов изделий, полуфабрикатов при производстве основного надземного цикла строительства, а также при выполнении благоустройства территории возводимого объекта.

ПСМ (Парк строительных машин) – это сложная техническая система, характеризующаяся высокой размерностью, множественностью и сложностью зависимостей, динамичностью [6]. Парки строительных машин генподрядных организаций, имеющих объекты строительства на больших расстояниях друг от друга с малыми объемами выполняемых работ, должны оснащаться механизмами небольших габаритов, мобильными, возможным использованием для различных видов работ. Например: передвижные бетонные станции, краны-экскаваторы.

Эффективность применения СПМ достигается при правильном укомплектовании состава парка и рациональной его эксплуатации, так же на определении показателей количественной оценки эффективности технического уровня [7].

Выбор ведущей машины при возведении здания или сооружения, а также при выполнении ремонтно-реконструктивных работ производится на основе технико-экономических показателей, которые зависят от типа выбираемого механизма, видов и объемов выполняемых работ, метода организации строительного производства, природных, режима работы, дальности перевозки машины. Например, для самоходного крана — это высота подъема крюка, грузоподъемность.

Дадим определение «эффективная производительность строительной техники», рассмотрев показатели, влияющие на него. Эффективность машины определяется техническим уровнем и количественной оценкой (отношение расходов материальных средств к единице продукции). Естественно, эффективное применение ПСМ подразумевает использование строительных машин с высокой производительной способностью, минимизацию простоев и прочие показатели эффективности труда машины. Загруженность строительного оборудования напрямую зависит от объема СМР, исполняемых подрядной или субподрядной организацией. Так как обслуживание и работа ПСМ подразумевает значительные расходы, многие подрядчики арендуют строительную технику в более крупных фирмах или управлениях механизации. На выбор ПСМ и формирование его в подрядной строительной организации для ведения СМР влияют следующие условия. Оценить работу строительной техники, входящей в состав ПСМ, можно на основе объединения ее в систему машин. Основным критерием оценки эффективности строительных машин и механизмов является их производительность [8].

Можно выделить производительность трех видов – теоретическую, техническую и эксплуатационную производительность. Теоретическая производительность определяется расчетом исходя из максимального значения параметров за 1 ч чистой работы, загрузка машины, установленные расчетные скорости. Расчетная производительность является основой для определения технической и эксплуатационной производительности строительной техники.

Техническая производительность – это производительность определяющаяся за 1 ч работы техники без учета перерывов при наиболее эффективном режиме загрузки машины с учетом применения ее технических возможностей. В данном случае учитывается ряд переменных факторов, отражающих характер и условия выполнения работ. Эксплуатационная производительность в отличие от технической учитывает необходимые минимальные простои в работе строительной техники по конструктивно-техническим, технологическим и природно-климатическим условиям, а также прочие перерывы, неизбежные при работе. Эксплуатационная эффективность строительной техники устанавливается исходя из результатов работы, достигнутых подрядными организациями. Эксплуатационная производительность используется при пропланово-организационных ектировании, механизированных работах, а также при определении потребности в строительных машинах и при контроле за использованием отдельной техники и ПСМ в целом. Различают нормативную, плановую и фактическую эксплуатационную производительность.

Повысить эксплуатационную производительность машины можно двумя путями: организационными мероприятиями, уменьшающими потери рабочего времени, и конструктивными решениями, улучша-

ющими технологический процесс. К конструктивным решениям относят улучшение приспособленности машины к конкретным условиям за счет использования сменного рабочего оборудования, специальных конструкций узлов, микроклимата кабины и т.п. Рациональная конструкция машины позволяет улучшить технологию работ, снизить энергоемкость рабочих процессов, облегчить труд операторов и вспомогательных рабочих. Например, если конструкция автогрейдера допускает разворот отвала на 180°, то исключаются технологические перерывы на возвращение машины задним ходом к месту начала работ.

Долгое отсутствие пополнения парка строительных машин приводит к падению показателей эффективности использования и работы, при этом возрастает число ремонтных обслуживаний техники. Из этого можно сделать вывод, что новые поступления строительной техники повысят качество выполняемых СМР, уменьшат объем ремонтных случаев.

Условия производства работ также являются одним из факторов, влияющих на производительность техники. Например: монтажный кран производит работу с приобъектного склада или с транспортных средств. Вид возводимого объекта или вид работ выполняемых по ремонту, или реконструкции здания, сооружения также влияют на производительность ПСМ. Тип и характеристики материала конструкций, монтируемых на объекте.

В условиях современности ощущается большая потребность в строительной технике и оборудовании, возрастает необходимость технического обслуживания и ремонта. Технические характеристики и показатели строительной техники зависят от вовремя проведенного и качественного технического обслуживания и ремонта (в соответствии с действующими нормативами) для предупреждения износа деталей. Применение строительных машин, претерпевших материальное устаревание, является весьма неэкономным, генподрядные организации несут большие финансовые потери, вкладывая средства в ремонтную базу, а не на приобретение новой техники. Снижается производительность СПМ и увеличиваются денежные вложения в эксплуатацию. В ситуации, когда денежные средства ограничены для пополнения парка строительных машин, возрастает потребность ремонта техники, для продления эксплуатации и работоспособности парка машин. Большая часть ПСМ сосредоточена в средних и мелких строительных организациях. Станции технического

обслуживания в своем составе имеют не все подрядные организации, да и они отстают в своем оснащении от передовых технологий современности. Возможности ремонтных мощностей применялись не полностью в связи с резким падением платежеспособности строительных, дорожных и автотранспортных предприятий, владельцев строительных машин, а также ростом цен за ремонт. Строительные организации стараются производить ремонт строительных машин, включая и капитальный ремонт, своими силами, хотя не имеют соответствующего технологического оборудования. Технологическое оборудование эксплуатационных предприятий устарело и требует обновления. В строительных организациях отсутствует применение специализированных информационных систем управления эксплуатацией и ремонтами, что также влияет на эффективность применения строительной техники.

Одним из немаловажных факторов, являются природно-климатические условия. Какие объемы СМР выполняются в летний период, а какие в зимний? В зимний период необходимы дополнительные прогревания машин, что также снижает эффективность применения строительной техники. На рис. 2 показан расчет рабочего времени строительных машин, используемых при выполнении СМР (экскаваторов, бульдозеров, автокранов) на протяжении года. Сделав анализ графических зависимостей, можно сделать вывод, что в весенне-летний период возрастает потребность на все типы строительных машин.

В данный период года особенно резко увеличивается доля использования землеройных машин (экскаваторов, бульдозеров). Вопрос выполнения планов работ в этот период и использования возможностей адаптации парка строительных машин к погодным условиям стоит наиболее остро.

Одним из немаловажных показателей, влияющим на производительность строительной техники, является уровень квалификации рабочих, управляющих и работающих на данных механизмах. Возможность полного применения всех характеристик машины и обеспечивать взаимодействие нескольких механизмов.

Рассмотренные факторы напрямую влияют на показатель эффективности использования машин по времени, распределения времени нахождения машины в ведении строительной организации на промежутки, в течение которых она выполняет свои основные функции или имеет перерывы в их выполнении по различным причинам.

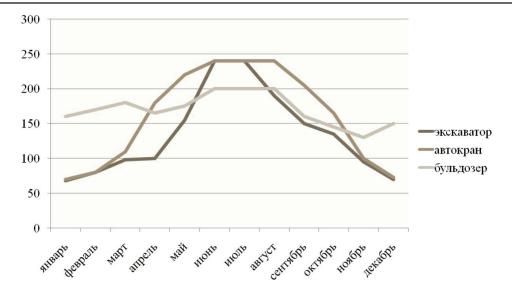


Рис. 2. Расчет рабочего времени машин по месяцам

Эффективное применение СПМ, правильно произведенный выбор строительной машины для выполнения работы – залог качественного выполнения СМР с минимальными затратами материально-трудовых ресурсов, а следовательно, и времени возведения объекта.

Но не надо также забывать о влиянии работы выбранной техники на экологию [9], воздействие на окружающую среду включает: наличие выбросов, отходов и брака в производстве; отрицательное воздействие физических полей: вибрационных, электромагнитных, акустических и др.; наличие в перерабатываемом материале вредных веществ (канцерогенных, ядовитых и т.п.). Все это вредно воздействует на здоровье людей. Поэтому при формировании парка строительных машин, выборе технологий производства строительных работ следует стремиться применять машины и механизмы, работающие на экологических ресурсах, не излучающие электромагнитных и акустических волн. Именно в этом случае будет достигнута полная целесообразность выбора и эксплуатации строительной техники при возведении объекта.

Список литературы

1. Волкова А.В. Инновации в жилищном строительстве // В сборнике: Актуальные проблемы экономического развития и правового регулирования социально-экономических отношений материалы круглого стола. Орловский

филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ. – 2013. – С. 13–16.

- 2. Волкова А.В. Разработка системы проектного управления инновационным развитием малоэтажного жилищного строительства // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области экономики и финансов Материалы и доклады 3-й международной научно-практической конференции. В ІІІ частях. Под общей редакцией О.А. Строевой. 2017. С. 98–100.
- 3. Паняев С.С., Борисова Н.В. Малоэтажное панельное строительство с применением композитной арматуры и полистиролбетона // Инновационные технико-технологические решения для строительной отрасли, ЖКХ и сельскохозяйственного производства. Сборник материалов. 2015. С. 51–57.
- 4. Фетисова М.А., Козыркин В.А. СМК как основной вид контроля качества в строительстве // Фундаментальные исследования. 2016. № 8–2. С. 277—280.
- 5. Фетисова М.А., Глухова Л.Р. Система контроля качества строительной продукции на современном уровне в Орловской области: монография. Орел: Картуш, 2017. 128 с.
- 7. Ховалыг Н-Д.К. Методика формирования структуры парка строительных машин на основе анализа жизненного цикла / А.В. Зазыкин, Н-Д.К. Ховалыг // Актуальные проблемы современного строительства. 64-я Междунар. научно-технич. конф. молодых ученых, посвященная 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова. СПб.: СПбГАСУ, 2011. № 4.1. С. 167—17.
- 8. Глухова Л.Р., Фетисова М.А. Факторы, влияющие на эффективность работы строительной техники // Молодой ученый. -2017. -№ 15. C. 33–35.
- 9. Волкова А.В. Сельский туризм в российской провинции // В сборнике: Вестник строительства и архитектуры Сборник научных трудов. Орел, 2010. С. 205–208.

УДК 621.436/.4.001.57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСНОВНОЙ НАГРУЗКИ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КРИВОШИПНОЙ ГОЛОВКИ ШАТУНА С КОСЫМ РАЗЪЕМОМ

Гоц А.Н.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: hotz@mail.ru

Предложена методика экспериментального определения коэффициента основной нагрузки резьбового соединения крышки и кривошипной головки шатуна с косым разьемом. Шатунные болты нагружаются силой затяжки, которая обеспечивает плотность стыка между крышкой и кривошипной головкой. Во время работы двигателя шатунный болт нагружается дополнительной циклической силой от сил инерции деталей, совершающих возвратно-поступательное движение. На болт передается только часть этой силы, которая равна произведению силы на коэффициент основной нагрузки. Поскольку этот коэффициент в литературных источниках рекомендуется выбирать в пределах 0,15...0,25, то для конкретной конструкции шатуна правильный выбор этого коэффициента позволит обоснованно выбрать силу затяжки шатунных болтов, а также обеспечить надежность шатуна при действии циклической нагрузки. Приведены результаты экспериментальных исследований распределения напряжений в шатунных болтах шатунов с косым разъемом при сборке и затяжке болта, а также при нагружении шатуна внешней продольной нагрузкой. Если определить нагрузку, которую испытывает шатунный болт при действии на шатун внешней силы, то это позволит определить коэффициент основной нагрузки резьбового соединения. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению силы в шатунных болтах и значения коэффициента основной нагрузки.

Ключевые слова: шатун, болт, кривошипная головка, косой разъем, напряжения растяжения, коэффициент основной нагрузки

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT BASIC LOAD ON THREAD IN CONNECTION THE OF THE CRANK CONNECTING ROD HEAD WITH AN OBLIQUE CONNECTOR

Gots A.N.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: hotz@mail.ru

We proposed method of experimental determination of the main load of the threaded joint of the lid and connecting rod with an oblique connector. The bolt of Connecting rod loaded by tightening force, which ensures tightness of the joint between the cover and the head of connecting rod. During operation of the engine connecting rod bolt is loaded with an additional cyclic force from inertia forces of the parts, which movement reciprocating. On the bolt is transmitted only part of this force, which is equal to the product of the force on a factor of the main load. Since this coefficient in the literature it is recommended to choose within 0,15...0,25, for the particular design of the connecting rod proper choice of this ratio will allow us to choose by tightening the connecting rod bolts, as well as to ensure the reliability of the connecting rod under the action of cyclic loading. We takes the results of experimental studies of stress distribution in connecting rod bolts connecting rod with a slanted connector during Assembly and tightening of the bolt.

Keywords: connecting rod, bolt, connecting rod head, oblique connector, bending stresses, coefficient basic load

Как известно, в шатунах поршневых двигателей кривошипная головка разъемная, а крышка к головке приворачивается болтами, поэтому это соединение будем рассматривать как обычное резьбовое соединение [1, 2]. Если в шатунах с прямым разъемом соединение крышки и головки производится закладными болтами и болт затягивается гайкой, то в шатунах с косым разъемом кривошипной головки шатунные болты ввертывают в тело шатуна. Шатунные болты затягивают некоторым усилием, при котором обеспечивается плотность стыка между крышкой и кривошипной головкой [3]. При работе поршневого двигателя на шатун действует переменная циклическая сила P_i — сила инерции деталей, совершающих возвратно-поступательное движение,

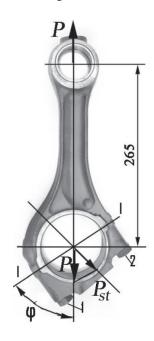
а также силы инерции вращающейся массы кривошипной головки шатуна без массы нижней крышки. Однако на шатунный болт дополнительно (кроме силы затяжки) действует только часть этой силы $\approx 0.5\chi P_p$, где χ — коэффициент основной нагрузки резьбового соединения [4]. В работе [1] предлагается выбирать $\chi=0.15...0.25$. Выходит, если $P_p=75000$ H, то на шатунный болт в затянутом состоянии будет действовать сила $P_b=0.5\chi P_p=5625...9375$ H, то есть силы отличаются на 67%.

В теории резьбовых соединений х определяют из условия совместности деформаций болта и стягиваемых болтом деталей. Однако для кривошипной головки шатуна применить этот расчетный метод не представляется возможным ввиду того, что ис-

пользуемый при этом так называемый конус давления выходит за пределы стягиваемых деталей. Наружный диаметр d_{kd} конуса давления равен [2]:

$$d_{kd} = a + l_1 \operatorname{tg}\alpha, \tag{1}$$

где a — внешний диаметр опорной поверхности болта или гайки; l_1 — толщина стягиваемых деталей; $tg\alpha=0,4...0,5$.



Шатун дизеля 4 ЧН 13/14: I-I — линия разъема; 1— длинный шатунный болт; 2 — короткий шатунный болт

Так, например, для шатунов дизеля 4 ЧН 13/14 (Д-440) (рисунок) толщина кривошипной головки в сечении разъема ≈ 24 мм. Если подсчитать диаметр основания конуса давления, у которого a = 21 мм, а $l_1 = 71$ мм, то согласно (1) $d_{kd} = 49,4$ мм, т.е. почти в два раза больше толщины кривошипной головки. Кроме того, некорректность расчетного определения коэффициента у состоит в том, что по теории ведут расчет стягиваемых свободных деталей [2, 3, 4], а в нашем случае крышка шатуна связана с остальной частью, т.е. стягиваются статически неопределимые системы. Наша попытка провести расчет коэффициента χ для шатунов дизеля 4 ЧН 13/ $\bar{14}$ (Д-440) привела к числу $\chi = 0,14...0,15$. В связи с этим было предложено экспериментально определить коэффициент основной нагрузки х. Трудность в его определении заключалась в том, что продольная нагрузка приложенная к шатуну распределяется неравномерно по поверхностям стыка между крышкой и кривошипной головкой для шатунов с косым разъемом.

Цель исследования

Определить экспериментально коэффициент основной нагрузки резьбового соединения шатуна — соединение крышки и кривошипной головки.

Материалы и методы исследования

Для экспериментального определения усилий в шатунных болтах при нагружении шатуна продольной силой использовалась методика, рассмотренная в работах [5, 6]. На стержень шатунного болта были наклеены по его окружности тензорезисторы в точках A_1 , B_1 и C_1 через $120\,^\circ$ друг от друга. Выводы от тензорезисторов проходили через боковое и осевое сверление шатунных болтов, а также через головку. Поскольку нас интересовали напряжения растяжения, то среднее значение этих напряжений в трех точках \mathbf{G}_{A_1} , \mathbf{G}_{B_1} , \mathbf{G}_{C_1} определяет напряжение растяжения \mathbf{G}_r :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{A_1} + \sigma_{B_1} + \sigma_{C_1}}{3}.$$
 (2)

Напряжение растяжения определяли при затяжке болтов ключом предельного момента, что позволило определить также приведенный коэффициент трения на опорной поверхности головки болта и в резьбе для контроля в дальнейшем возникающей силы при затяжке болта по приближенной зависимости [4, 7, 8]:

$$M_{k} = kQd, (3)$$

где M_k — момент на ключе, k — приведенный коэффициент трения на опорной поверхности головки болта и в резьбе; d — наружный диаметр резьбы шатунного болта.

После затяжки шатунных болтов моментом затяжки, определенным в технической документации на двигатель, шатун нагружался ступенчато продольными силами. Напряжение в трех точках σ_A , σ_B , σ_C , определялось, по которым можно было по формуле (2) найти среднее напряжение и усилие в каждом болте:

$$P_b = \sigma_r F_b, \tag{4}$$

где F_b – площадь поперечного сечения болта с наклеенными тензорезисторами.

Поскольку при экспериментальных исследованиях определяются силы, действующие вдоль оси шатунных болтов (продольные силы), то для шатунов с косым разъемом суммарная сила, действующая на оба стыка кривошипной головки P_{sr} , равна проекции продольной силы P вдоль стержня шатуна линию, перпендикулярную линии разъема, или

$$P_{st} = P\cos(90^{\circ} - \varphi) = P\sin\varphi, \tag{5}$$

где ф – угол плоскости разъема кривошипной головки к продольной оси шатуна.

Так как распределение усилий по стыкам пока неизвестно, то по формулам (4) и (5) найти коэффициент χ не представляется возможным (в одном уравнении две неизвестные), то определив по формуле (4) усилие в каждом из болтов Q_{b_1} и Q_{b_2} (то есть усилия, которые приходятся на каждый из шатунных болтов при действии на шатун продольной силы), можно найти суммарное усилие на оба болта. Тогда приведенный коэффициент основной нагрузки равен

$$\chi = \frac{Q_{b1} + Q_{b2}}{P_{st}}.$$
 (6)

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим результаты расчетно-экспериментальных исследований по определению коэффициента основной нагрузки резьбового соединения кривошипной головки шатуна х и приведенного коэффициента трения на опорной поверхности головки болта и в резьбе k дизеля 4Ч 13/14 (Д-440) при затяжке болтов в кривошипную головку шатуна, а также при нагружении шатуна продольной растягивающей силой. Испытывались серийные шатуны с косым разъемом и ввертными болтами (рисунок) (короткий длиной $l_b = 71$ мм, длинный – l_b = 84 мм, диаметр стержня болта d_0 = 13,6 мм; площадь поперечного сечения стержня болта $F_b = 0.145 \times 10^{-3} \text{ м}^2$, резьба 16х1,5). Заметим, что внутреннее сверление для проводов, соединяющих тензорезисторы, было выполнено ближе к головке болта, поэтому поперечное сечение стержня болта определялось по $d_0 = 13,6 \text{ mm}.$

Плоскость разъема нижней головки шатуна выполнена под углом 55° к оси стержня (см. рисунок). Крышка соединяется с головкой шатуна по разъему при помощи треугольных шлицов. Для измерения напряжений на стержне болта были наклеены через 120° по окружности в соответствии с описанной выше методикой тензорезисторы с базой 5×10-3 м. Шатунные болты затягиваются, начиная с длинного болта, момент их затяжки – 220...240 Н°м.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований по определению напряжений в длинном болте при его затяжке в шатун. Далее определялись сила затяжки Q_{b1} , H по формуле (4) и приведенный коэффициент трения на опорной

поверхности головки болта и в резьбе k по формуле (3).

В табл. 2 приведены аналогичные результаты экспериментальных и расчетных исследований, но только для короткого болта.

Затяжка болтов производилась в следующей последовательности. Сначала затягивался длинный болт, а затем короткий (в соответствии с инструкцией по эксплуатации) моментом затяжки 220 Н·м. После этого шатун устанавливался в испытательную машину и нагружался продольной растягивающей силой 30, 40, 60 кН. Результаты экспериментального определения напряжений и расчетные значения усилий, воспринимающих каждым из болтов при таком нагружении, приведено в табл. 3 и 4.

Далее шатуны снимались с испытательной машины и болты дополнительно затягивались до момента затяжки $M_z = 240~{\rm H\cdot M.}$ В этом случае проводилась проверка, как влияет дополнительная затяжка, а значит, и деформация кривошипной головки на соотношения податливостей крышки и болта, а значит, и на коэффициент основной нагрузки. Результаты экспериментального определения напряжений и расчетные значения усилий, воспринимающих каждым из болтов при моменте затяжки $M_z = 240~{\rm H\cdot M}$ и таком нагружении, приведены в табл. 5 и 6.

Для расчета коэффициента основной нагрузки χ резьбового соединения кривошипной головки и крышки шатуна дизеля 4Ч 13/14 (Д-440) сведем в табл. 7 результаты экспериментальных и расчетных исследований из табл. 3 и 4. Момент затяжки шатунных болтов составлял $M_z = 220~{\rm H\cdot m.}$ В столбце 6 приведены результаты расчета коэффициента χ по формуле (6) по данным в столбцах 2 и 5.

Таблица 1

Напряжения и сила затяжки в длинном шатунном болте

затяжки, ружной поверхности болта, МПа			Напряжение растяжения	Сила затяжки	Приведенный коэффициент трения на опорной	
Н·м	$\sigma_{_{\!A1}}$	$\sigma_{_{\mathrm{B1}}}$	$\sigma_{_{\mathrm{C1}}}$	$σ_r$, ΜΠα	Q_{b1} , H	поверхности головки болта и в резьбе k
40	-14	291,5	-18	86,5	12559	0,19906
80	139	242,8	152,8	178,2	25873	0,19325
120	188,5	342,8	252,2	261,2	37919	0,19779
160	254,3	432,5	378,2	355	51542	0,19402
180	340	432	412,5	394,8	57325	0,19624
220	398	459	445	434	63012	0,19837
240	450	505	494	483	70127	0,19607
		0,1967				

Таблица 2 Напряжения и сила затяжки в коротком шатунном болте

Момент затяга,				Напряжение растяжения	Усилие в шатунном	Приведенный коэффициент трения на опорной
Н	$\sigma_{_{\! A1}}$	$\sigma_{_{\mathrm{B1}}}$	$\sigma_{_{\mathrm{Cl}}}$	$σ_r$, ΜΠα	болте Q_{b2} , Н	поверхности головки болта и в резьбе k
40	-18,6	294,2	-17,8	85,9	12477	0,2004
80	122,2	288,3	106,4	172,3	25016	0,1999
120	182,4	406,3	186,9	258,5	37536	0,1998
160	223,1	412,9	399	345	50091	0,1996
180	269,5	448,6	449	389	56484	0,1992
220	328,2	486,1	476,6	430	62475	0,2000
240	359,6	576,9	592,7	472,1	68539	0,2006
		Средн	ее значение			0,2003

Таблица 3 Напряжения и усилия в длинном шатунном болте после затяжки моментом 220 Н⋅м и при нагружении шатуна продольной силой

Усилие в шатуне, <i>P</i> , H	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			Напряжение растяжения о _г , МПа	Усилие в шатунном болте Q_{b1} , Н
	$\sigma_{_{\!A1}}$ $\sigma_{_{\!B1}}$ $\sigma_{_{\!C1}}$				
1	2	3	4	5	6
30000	14,1	22,2	18,5	18,3	2652
40000	20,2	32,2	22,3	24,9	3615
60000	28,3	52,2	32,3	37,6	5459

Таблица 4 Напряжения и усилия в коротком шатунном болте после затяжки моментом 220 Н·м и при нагружении шатуна продольной силой

Продольное усилие в шатуне, P, H	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			Напряжение растяжения $\sigma_{_{\! r^{\! \prime}}}$ МПа	Усилие в шатунном болте Q_{b1} , H
	$\sigma_{_{\!A1}}$ $\sigma_{_{\!B1}}$ $\sigma_{_{\!C1}}$				
1	2	3	4	5	6
30000	6,5	20,3	11,8	12,9	1868
40000	14,5	21,3	17,5	17,8	2579
60000	20,6	33,4	24,5	26,2	3799

Таблица 5 Напряжения и усилия в длинном шатунном болте после затяжки моментом 240 Н·м и при нагружении шатуна продольной силой

Усилие в шатуне, <i>P</i> , H	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			Напряжение растяжения σ_{r} , МПа	Усилие в шатунном болте $Q_{\rm bl}, { m H}$
	$\sigma_{_{ m Al}}$ $\sigma_{_{ m Bl}}$ $\sigma_{_{ m Cl}}$				
1	2	3	4	5	6
30000	13,2	21,7	19,5	18,3	2633
40000	16,8	32,5	21,8	23,7	3441
60000	30,8	47,2	31,5	36,5	5299

Таблица 6 Напряжения и усилия в коротком шатунном болте после затяжки моментом 240 ${
m H}^{\cdot}{
m M}$ и при нагружении шатуна продольной силой

Продольное усилие в шатуне, P , H	Напряженное состояние в трех точках на наружной поверхности болта, МПа			Напряжение растяжения $\sigma_{_{r}}$ МПа	Усилие в шатунном болте Q_{b2} , Н	
	$\sigma_{\!_{A1}}$ $\sigma_{\!_{B1}}$ $\sigma_{\!_{C1}}$					
1	2	3	4	5	6	
30000	6,2	19,2	11,5	12,3	1791	
40000	15,2	20,5	14,8	16,8	2444	
60000	20,2	30,4	21,2	23,9	3475	

 Таблица 7

 Расчет коэффициента основной нагрузки в резьбовом соединении шатуна при затяжке болтов моментом 220 Н·м

Продольное Нагрузка усилие на стык кривовитуне, шипной головки,		Нагрузка на бол тяжки момен		Суммарная нагрузка на болты	Коэффициент основной нагрузки – резьбового соедине-			
P, H	Q_{st} , H	Нагрузка на длинный болт Q_{b1} , Н	Нагрузка на короткий болт Q_{b2} , Н	$Q_{b1} + Q_{b2}$, H	ния кривошипной головки шатуна х			
1	2	3	4	5	6			
		3	·					
30000	24576	2652	1868	4520	0,1839			
40000	32768	3615	2579	6194	0,1890			
60000	49152	5459	3799	9258	0,1884			
	Среднее значение							

Таблица 8 Расчет коэффициента основной нагрузки в резьбовом соединении шатуна при затяжке болтов моментом 240 Н·м

Продольное усилие Нагрузка на стык криво-		Нагрузка на болты тяжки моменто		Суммарная нагрузка на	Коэффициент основной нагрузки –		
в шатуне <i>P</i> , H	шипной головки $Q_{\scriptscriptstyle st}$, Н	Нагрузка на длинный болт Q_{b_1} , Н	Нагрузка на короткий болт Q_{b2} , Н	болты $Q_{b1} + Q_{b2}$, Н	резьбового соединения кривошипной головки шатуна х		
1	2	3	4	5	6		
30000	24576	2633	1791	4424	0,1800		
40000	32768	3441	2444	5885	0,1796		
60000	49152	5299	3475	8774	0,1785		
	Среднее значение						

Аналогично, для расчета коэффициента основной нагрузки χ резьбового соединения кривошипной головки и крышки шатуна дизеля 4Ч 13/14 (Д-440) при моменте затяжки шатунных болтов $M_z = 240~{\rm H}\cdot{\rm M}$ сведем в табл. 8 результаты экспериментальных и расчетных исследований из табл. 5 и 6. В столбце 6 приведены результаты расчета коэффициента χ по формуле (6) по данным в столбцах 2 и 5.

Анализ результатов расчетно-экспериментальных исследований

Анализ результатов расчетно-экспериментальных исследований (см. табл. 1 и 2) показывает, что приближенная зависимость (3) выполнялась при затяжке длинного и короткого шатунных болтов. Следует при этом заметить, что для этого перед испытаниями

было проведено поверхностным пластическим деформированием опорной поверхности крышек шатунов [7, 8], а кроме того, при сборке опорные поверхности крышки и болта, а также резьбы смазывались.

Момент затяжки шатунных болтов не повлиял на величину коэффициента χ, так как среднее значение его по результатам двух измерений находится в пределах погрешности.

Выволы

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования показали, что для определения действительной силы, которую воспринимает затянутый шатунный болт при нагружении шатуна продольной силой, коэффициент основной нагрузки резьбового соединения можно предварительно определить достаточно простым экспериментом. Для выпускаемых в настоящее время автомобильных и тракторных двигателей его можно принять 0,18...0,20.

Список литературы

- 1. Чайнов Н.Д., Иващенко Н.А. и др. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. Под ред. Н.Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 2010. 496 с.
- 2. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С. Прикладная механика. М.: Машиностроение, 2013. 576 с.
- 3. Сыромятников В.С., Гарсия М.Х.М. и др. Оптимальная затяжка резьбового соединения от раскрытия стыка // Известия вузов. серия Машиностроение. 2016. № 12. С. 45–50.
- 4. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. М.: Высшая школа, 2008. 408 с.
- 5. Гоц А.Н. Исследование напряженного состояния шатунных болтов при их затяжке // Успехи современной науки. 2017. T. 2, № 8. C. 88–93.
- 6. Гоц А.Н. Расчет шатунных болтов с учетом изгиба // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы XII Международной научно-практической конференции. Под ред. В.В. Эфроса, А.Н. Гоца. Владимир: Владим. гос. ун-т, 2010. С 307-311
- 7. Budynas R., Nisbett K. Shigley's mechanical engineering design. McGraw-Hill. $2008.-1059\ p.$
- 8. Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments // John Wiley & Sons. -2012. -752 p.

УДК 621.833.6

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ

Дворников Л.Т., Герасимов С.П.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, e-mail: tmmiok@yandex.ru

Рассмотрено такое понятие, как планетарные передачи с установленными в них группами Ассура. Описан уникальный принцип проектирования и создания самоустанавливающихся уравновешенных планетарных передач с установленными в них группами нулевой подвижности, соединяющими все установленные сателлиты между собой, самоустанавливая их и передавая нагрузку через все установленные в ней сателлиты. Разработана таблица, в которой изображены модели планетарных передач, двух, трех, четырех, пяти и шестисателлитной, а также изложен принцип их конструирования. Обозначены и решены проблемы, связанные с самоустанавливанием сателлитов, распределением нагрузки на все установленные сателлиты планетарной передачи. Сделаны выводы о целесообразности использования таких групп в планетарных передачах. Тема статьи ранее практически не поднималась и является малоизученной.

Ключевые слова: многосателлитность, планетарные передачи, редуктор, машиностроение, группы Ассура, группы нулевой подвижности, сателлит, зубчатое колесо

THE FUNDAMENTAL PROBLEM MEGASATELLITE PLANETARY GEAR SETS AND POSSIBLE WAYS OF THEIR PERMISSION

Dvornikov L.T., Gerasimov S.P.

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, e-mail: tmmiok@yandex.ru

Considered such a thing as a, planetary transmission, with installed assura group. Describes the unique design principle of the balanced self-aligning planetary gear, with installed groups of zero mobility, connecting all installed satellites between samosenkova them, and passing the load through the installation of satellites. Developed table which shows the model of the planetary gear, two, three, four, five and shestistrunnoi and also sets out the principle of their construction. Identified and resolved problems associated with samostanovlenie satellites, the distribution of load on all the installed satellites planetary gear set. The conclusions about the feasibility of using such groups in the planetary gear. The subject of the article had not been raised, and is little known.

Keywords: multi-satellites, planetary gears, gear, mechanical engineering, Assur group, group of zero mobility, satellite, cogwheel

Трудно назвать отрасли мировой промышленности, где бы не использовались дифференциальные, планетарные, замкнутые дифференциальные зубчатые передачи. Их применение не только повсеместно, но и осуществляется в таких масштабах, что не может быть даже приблизительно оценено в объемах. Ими оснащаются транспортные, грузоподъемные, металлообрабатывающие, металлургические, полиграфические, текстильные и сельскохозяйственные машины, военная техника, морской флот. Любое их совершенствование, увеличение их коэффициента полезного действия является актуальной задачей, имеющей государственное значение.

В настоящей статье обосновывается и решается принципиальная, по мнению авторов, проблема планетарных передач, которая вот уже на протяжении более чем векового их применения не была чётко сформулирована, а потому и не находила разрешения. Речь идёт о возможности существенного увеличения КПД, а также уменьшения массы и габаритов планетарных передач самого различного назначения.

Коротко эта проблема сводится к следующему – все ныне эксплуатируемые и заново создающиеся планетарные передачи при расчёте их массо-габаритных параметров, прочности и передаваемой мощности рассматриваются как передачи, оснащённые одним сателлитом, через который передаётся вся мощность от ведущего колеса к ведомому водилу или наоборот. Это утверждение не голословно.

Один из ведущих учёных – специалистов в области изучения и проектирования планетарных передач – профессор В.Н. Кудрявцев в монографии [2], основываясь на многолетнем опыте создания и эксплуатации планетарных передач, доказательно утверждает, что при работе многосателлитных планетарных передач реально до 80% мощности передаётся через один сателлит, а потому, чтобы обеспечить необходимую прочность этих высоконагруженных передач, следует их силовой расчёт проводить из условия, что вся мощность от ведущего звена к ведомому передаётся через один сателлит. Важно отметить, что в любой момент времени эта нагрузка может передаваться через разные сателлиты, а потому каждый из сателлитов должен обладать прочностью, удовлетворяющей полному его нагружению. При этом считается, что участие других сателлитов в передаче мощности может лишь дополнить прочность редукторов в целом и их долговечность.

Естественным становится вопрос о том, как следует изменить конструкции многосателлитных планетарных передач, чтобы гарантировать равное участие всех сателлитов в передаче мощности. Если бы этого удалось добиться, то нагрузки, действующие на каждый сателлит, могли бы быть уменьшены в (число сателлитов) раз, а это неизбежно привело бы к уменьшению массо-габаритных параметров передач (в разы), что дало бы легко прогнозируемый высокий экономический эффект, имеющий революционный результат.

Исходя из отмеченного, можно утверждать, что проблема многосателлитных планетарных зубчатых передач как минимум должна быть дополнительно глубоко изучена с высокой ожидаемой практической целесообразностью.

Изучению планетарных передач были посвящены сотни, а может быть, и десятки сотен монографий, обзоров, научных статей. Эта тема широко освещается в учебниках и учебных пособиях по теории зубчатых передач. Достаточно назвать монографии Н.Ф. Руденко [1] в 47 печатных листов, В.Н. Кудрявцева [2], Л.Н. Решетова [3], М.А. Крейниса и М.С. Розовского [4], Н.А. Чусовитина [5] и др. Казалось бы, теория таких передач к настоящему времени вполне разработана и каких-либо принципиальных сомнений не вызывает. И тем не

менее, по глубокому убеждению авторов настоящей статьи, существует оставшаяся практически не разрешенной и, можно предположить, даже не очень замеченной на протяжении полутора веков — от первых исследований Р. Виллиса до настоящего времени проблема, которая может быть сформулирована как проблема многосателлитности планетарных передач.

Известно, что подвижность любого плоского механизма, а планетарная передача с цилиндрическими зубчатыми колесами есть плоский механизм, может быть определена по широко известной формуле подвижности, называемой расширенной формулой П.Л. Чебышёва, имеющей вид

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \tag{1}$$

где n — число подвижных звеньев, p_5 и p_4 — числа кинематических пар соответственно пятого (шарниры) и четвертого (высшие пары — пары сцепления зубьев колес) классов.

На эту формулу ссылаются в своих монографиях Н.Ф. Руденко, В.Н. Кудрявцев, Л.Н. Решетов и другие, считая ее вполне приемлемой для решения задач определения подвижности планетарных передач.

Если применимость формулы (1) к исследованиям подвижности планетарных передач не вызывает сомнений, то ее использование в частных случаях безусловно правомочно, и если такие сомнения у исследователей возникали, то, во-первых, авторам настоящей статьи эти сомнения неизвестны, а во-вторых, вопрос о ее несоответствии особенностям планетарных передач должен был быть чётко сформулирован и безупречно доказан, что также в известной литературе не найдено.

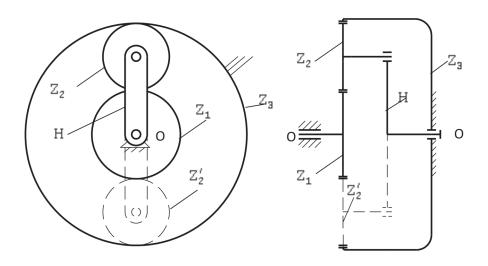


Рис. 1. Простейшая планетарная АІ передача

Обратимся к частным примерам. На рис. 1 показана простейшая AI передача (по терминологии Н.Ф. Руденко), где A – означает внешнее (Ausen), а I – внутреннее (Innen) зацепление колес.

В этой передаче согласно общим обозначениям, приведенным И.И. Артоболевским в учебнике [3], всего три подвижных звена: Z_1 — центральное подвижное колесо, Z_2 — сателлит, H — водило. Центральное колесо Z_3 (венец) неподвижно. Число кинематических пар p_5 = 3 (OZ $_1$, Z_2 H, HO), а пар p_4 = 2 — это зацепления (Z_1 — Z_2) и (Z_2 — Z_3). По формуле (1) имеем W = 9 — 6 — 2 = 1, т.е. механизм вполне работоспособен, в нем при заданном движении центральному колесу Z_1 или водилу H все остальные звенья могут двигаться вполне определенно.

Если обратиться к учению Ассура, то этот механизм состоит из ведущего звена Z_1 и группы звеньев Z_2 — H, обладающей нулевой подвижностью, т.е. являющейся группой Ассура. В этой группе два звена — Z_2 и H, две пары p_5 (Z_2 — H) и (H — O) и две пары p_4 (Z_1 — Z_2) и (Z_2 — Z_3). Подвижность этой группы W = 0. Если же за ведущее звено принять водило H, то рассматриваемый механизм будет состоять из ведущего звена (H) и группы нулевой подвижности — колес Z_2 и Z_1 с двумя шарнирами p_4 (Z_1 — Z_2) и (Z_2 — Z_3), также обладающей нулевой подвижностью.

Эти тривиальные пояснения приводятся здесь, чтобы показать далее, как влияет на подвижность передачи введение второго, третьего и т.д. сателлитов. Так, покажем, что если установить на водило второй сателлит (Z_2' (он показан на рис. 1 штрихами), то общее число звеньев станет равным четырем (n=4) и, кроме того, в передачу добавятся шарнир p_5 ($Z_2'-H$), тогда всего становится $p_5=4$ и добавляется $p_4=2$ (зацепления второго сателлита со звеньями Z_1 и Z_3), т.е. станет $p_4=2$. Тогда по формуле (1) будем иметь

$$W = 12 - 8 - 4 = 0$$
,

т.е. механизм окажется неработоспособным. Эта система по приведенному расчету является неподвижной. Дополнительный сателлит теперь оказывается препятствием для движения в передаче, т.е. определить реакции в кинематических парах такого механизма становится невозможным, а значит, спроектировать его по всем канонам обеспечения прочности нельзя. Выход из создавшейся неопределенности находится достаточно просто — расчеты прочности производятся исходя из условия, что вся мощность передаётся через один сателлит.

Если число дополнительных сателлитов, установленных на водило, более одного обозначить как $\mathbf{n}_{_{\mathrm{IC}}}$, то есть \mathbf{n} дополнительных сателлитов, то общее число звеньев станет $(\mathbf{n}+\mathbf{n}_{_{\mathrm{IC}}})$, общее число пар $\mathbf{p}_{_{5}}$ будет $(\mathbf{p}_{_{5}}+\mathbf{n}_{_{_{\mathrm{IC}}}})$, общее число пар зацепления окажется $(\mathbf{p}_{_{4}}+2\mathbf{n}_{_{_{\mathrm{IC}}}})$, так как каждый дополнительный сателлит будет входить в зацепление с центральным колесом и с неподвижным венцом. Подвижность передачи тогда с дополнительными сателлитами $\mathbf{W}_{_{\mathrm{IC}}}$ определится как

$$\begin{split} W_{_{\text{JC}}} &= 3(n + n_{_{\text{JC}}}) - 2(p_{_{5}} + n_{_{\text{JC}}}) - \\ &- (p_{_{4}} + 2n_{_{\text{JC}}}) = 3n - 2p_{_{5}} - p_{_{4}} - n_{_{\text{JC}}} \end{split}$$

или

$$W_{\text{gc}} = W - n_{\text{gc}}$$

где по (1) W = 1 и тогда

$$W_{ac} = 1 - n_{ac}. \tag{2}$$

При введении в механизм, например, пяти сателлитов, что в планетарном редукторостроении считается вполне допустимым, подвижность всей передачи становится равной —4, и система оказывается четырежды статически неопределимой. Этот результат и является основанием к утверждению, что сформулированная в названии статьи проблема многосателлитных планетарных передач существует и она до настоящего времени не разрешена.

Приведенные выше аргументы достаточно обоснованы, опровергнуть их невозможно, но любой опытный инженер или исследователь, исходя из практики эксплуатации планетарных передач с тремя и более сателлитами, может вполне справедливо заявить, что такие передачи серийно и массово изготавливаются и повсеместно применяются в самых различных отраслях техники, что проблем с их подвижностью просто не существует. Именно такие суждения, основанные на опыте, нередко оказываются вредными, не дающими возможности развития идеи на более высоком уровне, не всегда «практика является критерием истины». В рассматриваемом конкретном случае просто отбросить как не имеющий практического значения результат (2), получаемый из формулы (1), не является оправданным. Важнее ответить на вопрос, почему получаемый результат, а именно отрицательная подвижность механической системы - многосателлитной планетарной передачи - не проявляется на практике? А исчерпывающий ответ на этот вопрос существует. Дело в том, что высшие кинематические пары, которые используются в зубчатых зацеплениях, т.е. геометрические связи зубьев колес, есть связи неудерживающие, в них в отличие от обычных шарнирных соединений возможна передача движения лишь в одном направлении. Зуб одного колеса, воздействующий на зуб другого колеса, может «отодвигать» собой зуб другого колеса, но не может, изменив направление движения, увлечь его за собой, то есть связь между зубьями разорвется. Из этого следует, что при некоторых возможных зазорах между зубьями, они, зубья, могут и не соприкасаться друг с другом. Следовательно, когда, например, трехсателлитная передача оказывается вполне подвижной, то это означает лишь, что в зацеплении участвует всего один сателлит, а у второго и третьего сателлитов имеются зазоры с центральными колесами, которые возникли при изготовлении колес, а также в период сборки и доводки передачи. В этом легко убедиться, измеряя зазоры передаваемая мощность в них передается через один зуб, при этом между остальными парами зубьев существуют зазоры. Из изложенного следует, что в действительности в планетарных передачах число пар р (зацеплений) не три, а одна, и поэтому в строгом соответствии с формулой (1) обеспечивается определенность движения. Стремление же к более точному изготовлению соединений зубьев с целью полного устранения зазоров, во-первых, практически невозможно, а во-вторых, вредно, так как в этом случае передача оказывается с подвижностью W < 1 т.е. неподвижной. Следует отметить еще и то, что упругие деформации пары зубьев, находящихся в зацеплении, могут приводить лишь к увеличению зазоров между невошедшими в зацепление зубьями, а не уменьшать их, как может показаться.

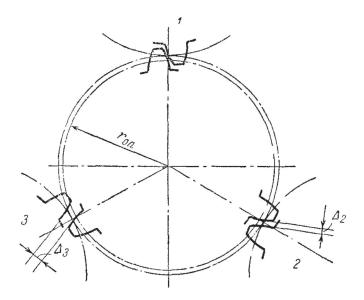


Рис. 2. Зацепление зубьев колес планетарной передачи по В.Н. Кудрявцеву

между зубьями в любой работоспособной многосателлитной передаче. Как только эти зазоры исчезнут, окажутся нулевыми, принудить передачу к движению будет невозможно в полном соответствии с формулой (1). Из этого следует вывод, который наиболее четко изложил В.Н. Кудрявцев в работе [2]. Он на рис. 2 показывает реальное расположение зубьев в планетарной передаче и записывает буквально следующее, — «В реальной передаче с фиксированными осями центральных колес и водила, вследствие неизменности погрешностей, касание будет только с одним сателлитом».

Именно из этого соображения делается важный вывод о том, что, рассчитывая на прочность зубья планетарных передач, необходимо исходить из условия, что вся

Всё изложенное выше дает основание сделать следующий вывод - в многосателлитных планетарных передачах, способных передавать мощность одинаково всеми сателлитами, непосредственная установка на выходное звено - водило более одного сателлита недопустима, такие механизмы или в принципе неработоспособны, или могут передавать мощность лишь через один сателлит. Исторически сложилось так, что теоретическое обоснование идеи применения зубчатых передач с колесами, геометрические оси которых подвижны (сателлитами), произошло в сороковых годах восемнадцатого века в исследованиях английского учёного Р. Виллиса. Именно он доказал работоспособность таких механизмов и их принципиальное достоинство. Формула определения передаточных отношений планетарных и дифференциальных зубчатых передач до настоящего времени носит имя Виллиса. Вывод его формулы основывается на условии использования одного сателлита на водиле. Очевидной тогда оказалась и идея параллельной – одинаковой установки на водило других сателлитов, что априори предполагалось допустимым. Проверить это было невозможно, так как какой-либо формулы для определения подвижности механизмов еще не существовало.

Если встать на позицию полного доверия к истинности результатов, которые дают формулы подвижности механических систем, обоснованные П.Л. Чебышёвым [7], А.П. Ма-В.В. Добровольским [13], лышевым [19], И.И. Артоболевским [20], то безответственного заявления вроде «мало ли, какой результат дают эти формулы, машины же работают» будет недостаточно. Надо тогда доказать, что есть ситуации в технике, где формула подвижности или неверна, или может быть проигнорирована. Но таких доказательств не существует, а потому единственным верным подходом к созданию совершенных машин является подход фундаментально базирующийся на полном удовлетворении формул подвижности. Основываясь на этом положении применительно к многосателлитным планетарным передачам, следует внимательно изучить приведённую выше формулу (1). Сущность ее заключается в том, что первый ее член 3n определяет полный состав движений системы из n звеньев в плоскости ее функционирования. Одно звено имеет три независимых подвижности - две вдоль осей Х и У плоской системы координат и одно движение - вращательное относительно оси, перпендикулярной плоскости ХҮ. Каждая кинематическая пара – шарнир р, оставляет одно относительное движение в плоскости, а два других исключает, тогда р₅ таких шарниров исключают 2р, подвижностей. Каждая высшая пара (зацепления) – двухподвижная, дозволяет единственное движение, а именно в направлении нормали в точке касания, а это значит что р, таких пар накладывает р, условий связи.

Разница между 3n и $(2p_5 + p_4)$ определяет подвижность рассматриваемой кинематической цепи. В случае, когда на водило планетарной передачи устанавливаются одинаковым образом как первый сателлит через шарнир p_5 , так и дополнительные сателлиты числом $n_{\rm gc}$, кинематическая цепь получит отрицательную подвижность

$$3n - (2p_5 + p_4) < 1$$
,

то есть подвижность цепи оказывается отрицательной, если

$$(2p_5 + p_4) > 3n$$
.

Эту ситуацию можно исправить лишь введением дополнительных звеньев — рычагов $n_{\rm дc}$. Но их установка в цепь потребует использования дополнительных шарниров $p_{\rm s}$ в количестве, удовлетворяющем баланс

$$(3n-1) = (2p_5 + p_4). (3)$$

Иного способа исправления неработоспособности многосателлитных планетарных передач не существует. Так, если создаётся планетарная передача с $(1+n_{_{\rm IC}})$ сателлитами, то общее число подвижных звеньев в ней станет

$$n = (1 + n_{_{DC}}) + 2 + n_{_{DD}}, \tag{4}$$

где 2 — это входное — центральное зубчатое колесо и выходное звено — водило, а $n_{\rm дp}$ — число дополнительных рычагов. При этом число звеньев $(1+n_{\rm дc})$ сателлитов образует $(1+n_{\rm дc})$ шарниров, входное колесо и водило добавляют в цепь два шарнира в их соединениях с неподвижным колесом — стойкой и потребуется еще $n_{\rm дp}$ шарниров для присоединения к цепи дополнительных рычагов, т.е. таких кинематических пар — шарниров потребуется

$$p_5 = (1 + n_{nc}) + 2 + n_{nb}. (5)$$

Кроме того, каждый из сателлитов, входящий в зацепление с центральными колесами, добавляет в цепь по две высших кинематических пары, т.е. всего

$$p_4 = 2(1 + n_{\pi c}) \tag{6}$$

При условиях (4), (5) и (6) зависимость (3) преобразуется к виду

$$\begin{split} 3[(1+n_{_{JC}})+2+n_{_{JIP}}]-1 = \\ +2[(1+n_{_{JC}})+2+n_{_{JIP}}]+2(1+n_{_{JIC}}), \end{split}$$

откуда

$$n_{\rm p} = n_{\rm pc}. \tag{7}$$

Таким образом, чтобы обеспечить определенность движения всех звеньев планетарной зубчатой передачи при увеличении числа сателлитов в ней, необходимо в ее кинематическую цепь вводить дополнительные рычаги числом, равным числу дополнительных сателлитов.

Если в цепи используется один сателлит, то в ней $n_{\rm ac}=0$, $n_{\rm ap}=0$ и из (4), (5) и (6) следует n=3, $p_5=3$, $p_4=2$. Этому условию удовлетворяет передача, приведенная на рис. 1. Если же в цепь вводится дополнительно один сателлит $n_{\rm ac}=1$, то необходимо в нее, согласно (7), ввести дополнительный рычаг $n_{\rm ap}=1$. Тогда общее число звеньев по (4) станет равным n=5, число шарниров по (5) $p_5=5$ и число пар по (6) $p_4=4$.

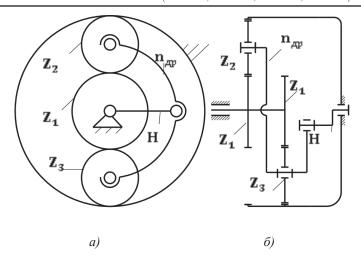


Рис. 3. Двухсателлитная одноподвижная планетарная передача

Кинематическая цепь такой планетарной двухсателлитной передачи показана на рис. 3.

В ней обозначены Z_1 — центральное входное колесо, Z_2 — сателлит, Z_3 — дополнительный сателлит, H — водило, $n_{\rm дp}$ — дополнительный трехпарный рычаг, который тремя шарнирами соединен с сателлитами Z_2 , Z_3 и с водилом H.

В профильной плоскости передачи (рис. 3, б) центральное входное колесо показано дважды в зацеплениях с сателлитами Z₂ и Z₃, что обеспечивает полную ясность введения $n_{_{\rm nD}}$ – дополнительного рычага. С точки зрения структурной теории Ассура этот механизм состоит из входного звена Z, и присоединённой к нему группы Ассура, т.е. группы, обладающей нулевой подвижностью и не распадающейся на более простые группы. Эта группа показана на рис. 4. В её состав входят два сателлита Z_1 и Z_2 , дополнительный рычаг $n_{_{1}p}$ и водило H. В этой группе четыре звена $Z_{_1}$, $Z_{_2}$, $n_{_{_{1}p}}$ и H, четыре пары р₅ – шарниры и четыре высшие пары, р₄ – зацепления сателлитов с центральным подвижным и неподвижными колесами.

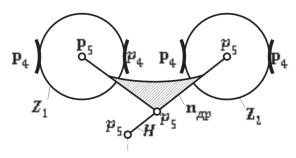


Рис. 4. Не распадающаяся на простые четырехзвенная группа нулевой подвижности двухсателлитной планетарной передачи

Числа звеньев и кинематических пар сложных многосателлитных планетарных передач с увеличением чисел сателлитов от 0 до 10 показаны в табл. 1.

Таблица 1

Общее число звеньев n, общее число шарниров p_5 , общее число высших пар p_4 , а также число дополнительных рычагов $n_{др}$ в зависимости от числа вводимых дополнительных сателлитов $n_{др}$

n _{de}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	22
p_5	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	22
p_4	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
n _{др}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

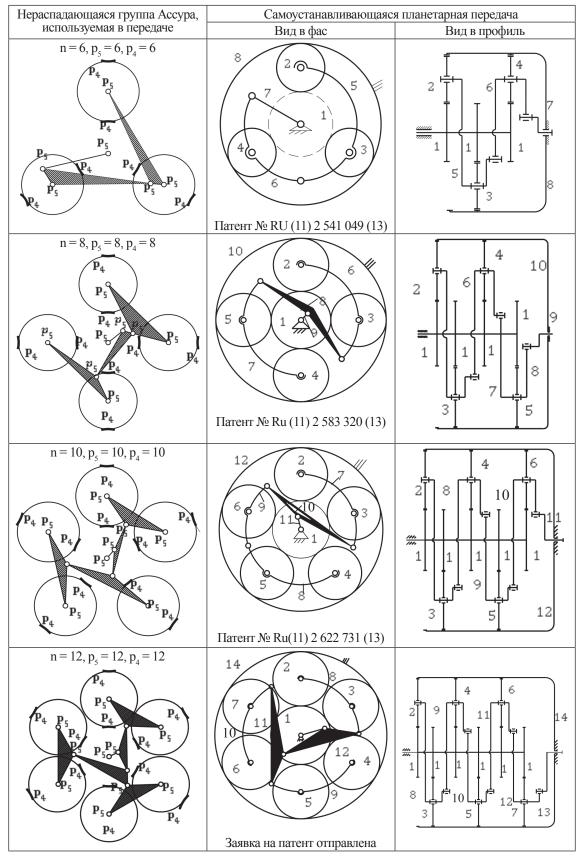
В строгом соответствии с табл. 1 в табл. 2 показаны реальные конструкции самоустанавливающихся трех, четырех, пяти и шестисателлитных планетарных передач, обладающие подвижностью W=1.

Все эти планетарные передачи, вопервых, самоустанавливающиеся, а вовторых, содержат в своем составе не распадающиеся на простые группы звеньев нулевой подвижности.

Заключение

Предложенные в настоящем исследовании метод поиска и реальные конструкции уравновешенных многосателлитных передач позволяют создавать планетарные передачи, в которых все установленные в них сателлиты нагружаются одинаково и расчет прочности всей передачи в них сводится к расчету прочности одного сателлита, нагрузка на который при этом уменьшается в (число сателлитов) раз.

Таблица 2 Трех, четырех, пяти и шестисателлитные планетарные передачи с подвижностью W=1



Список литературы

- 1. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи. Теория, расчет, применение и проектирование // 3-е изд. испр. и доп. М.; Л.: Машгиз, 1947. 756 с.
- 2. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. М.: Издательство «Машиностроение», Издание второе, 1966. 307 с.
- 3. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы. – М.: Издательство «Машиностроение», 1991. – 283 с.
- 4. Крейнес М.А., Розовский М.С. Зубчатые механизмы. Математические основы выбора оптимальных схем. М.: Изд-во МГУ, 1965. 334 с.
- 5. Гилета В.П., Чусовитин Н.А., Юдин Б.В. Механика. расчет зубчатых передач (учебное пособие) // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 2–2. С. 223–224.
- 6. Патент № RU (11) 2 541 049 (13)С1, заявка № 2013154381, РФ, МПК F16H 1/48 Самоустанавливающейся трехсателлитный планетарный редуктор / Герасимов С.П., Дворников Л.Т. Опубликовано: 10.02.2015 Бюл. № 4.
- 7. Теория механизмов и механика машин: Учеб. для втузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. М.: Высш. школа, 1998. 496 с.
- 8. Шеломов В.Б. Структурный синтез кинематических схем планетарных коробок передач // Теория механизмов и машин. -2010. T. 8, № 15. T. С. 52-61.
- 9. Алюшин Ю.А., Вержанский П.М. Кинематика планетарных передач // Горный информационно аналитический бюллетень $2009.- N\!\!_{2} 12.- C.463-473.$
- 10. Дворников Л.Т., Дмитриев В.В. Проблема избыточных связей в планетарных зубчтых механизмах и ее разрешение // Известия Томского политехнического университета. -2010. Т. 316, № 2. С. 13-15.
- 11. Андреева Я.А. Проблемы совершенствования трехсателлитных планетарных механизмов / Я.А. Андреева, И.А. Жуков // Вестник СибГИУ. – 2012. – № 1. – С. 23–26.

- 12. Герасимов С.П., Дворников Л.Т. Кинетостатический анализ шестизвенной группы нулевой подвижности, применительно к трехсателлитной планетарной передаче // Вестник Кузбасского государственного технического университета. $-2017.- \text{№}\ 4.-\text{C.}\ 117-120.$
- 13. Патент № RU (11) 2 622 731(13) С1, заявка № 2015155811, РФ, МПК F16H 1/48 Самоустанавливающаяся пятисателлитная планетарная передача / Дворников Л.Т., Герасимов С.П. Опубликовоно:19.06.2017 Бюл. № 17.
- 14. Патент № RU (11) 2 583 320 (13)С1, заявка № 2015100339/11 РФ, МПК F16H 1/28 Самоустанавливающаяся четырехсателлитная планетарная передача / Дворников Л.Т., Герасимов С.П. Опубликовоно:10.05.2015 Бюл. № 13.
- 15. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике в 7 томах / Том 4, Книга 2. Зубчатые механизмы. М.: Наука. 1979.
- 16. Гудимова Л.Н. Проблема слойности плоских шарнирных рычажных механизмов / Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников, Н.С. Большаков // Известия Томского политехнического университета. -2009. Т. 314, № 2. С. 35-39.
- 17. Дворников Л.Т. К задаче о самоустанавливаемости планетарных многосателлитных механизмов / Л.Т. Дворников, Я.А. Андреева // Успехи современного естествознания. -2011. № 7. С. 69.
- 18. Андреева Я.А. Проблемы совершенствования трехсателлитных планетарных механизмов / Я.А. Андреева, И.А. Жуков // Вестник СибГИУ. — 2012. — № 1. — С. 23—26.
- 19. Патент № 2342573, РФ, МПК F16H1/48. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Сибирский государственный индустриальный университет; Л.Т. Дворников, В.В. Дмитриев, В.С. Бондаренко. Опубл. в Б.И., 2008. № 36.
- 20. Дворников Л.Т. Проблема избыточных связей в планетарных зубчатых механизмах и ее разрешение / Л.Т. Дворников, В.В. // Известия Томского политехнического университета. -2010.-T.316, № 2.-C.13-15.

УДК 004.942:378

КОНВЕРГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ПРОГРАММ С УРОВНЯМИ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ

¹Деев М.В., ²Кравец А.Г., ¹Финогеев А.Г.

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: miqz@yandex.ru; ²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград

В статье рассматриваются вопросы разработки и исследования конвергентной модели информационной образовательной среды для поддержки процессов непрерывного образования. Основной задачей является синхронизация и согласование жизненных циклов образовательных программ, электронных образовательных ресурсов и уровней квалификации обучаемых. Конвергентная модель информационной образовательной среды определяет интеграцию образовательных технологий на основе единой информационно-образовательной платформы, системы представления информации, системы оценки знаний, системы управления учебным процессом. Модель конвергентного образования определяет сближение компетенций, получаемых различными специалистами в рамках жизненного цикла их собственных уровней квалификации и профессиональных знаний. Для реализации жизненных циклов образовательных программ, электронных образовательных ресурсов и уровней подготовки специалистов разработана унифицированная платформа информационной образовательной среды на базе интеграции систем управления контентом и управления обучением.

Ключевые слова: конвергенция, интеллектуальная образовательная среда, образовательная программа, жизненный цикл, электронный образовательный ресурс, конвергентное образование

CONVERGENT MODEL FOR THE SYNCHRONIZATION OF EDUCATIONAL PROGRAMS AND RESOURCES IN THE CONTINUOUS TRAINING OF SPECIALISTS

¹Deev M.V., ²Kravets A.G., ¹Finogeev A.G.

¹Penza State University, Penza, e-mail: miqz@yandex.ru; ²Volgograd State Technical University, Volgograd

The paper covers the issues of development and research of the convergent model of the information educational environment for supporting the processes of continuous education. The main task is the life cycles synchronization for educational programs, electronic educational resources and qualification level of specialists. The convergent model defines the integration of educational technologies on the unified information and educational platform. The platform includes an information presentation system, a knowledge assessment system, a learning management system, a educational content management system, etc. The model of convergent education determines the convergence of competences obtained by different specialists within the life cycle of their own skill levels and professional knowledge. To realize the life cycles of educational programs, electronic educational resources and training levels, a unified platform of the information educational environment has been developed on the basis of the integration of content management systems and training management.

Keywords: electronic educational resources, life cycle, ELR, content management system, convergent technologies, life cycle synchronization

Научно-технический прогресс и процесс эволюции информационно-технологических платформ вызывают необходимость быстрой актуализации учебно-методических комплексов, которая невозможна без использования современных информационных технологий. Процессы непрерывной подготовки специалистов, создания и развития образовательных программ (ÔП), электронных образовательных ресурсов (ЭОР) при постоянно меняющихся требованиях образовательных стандартов и работодателей тесно связаны и требуют комплексной синхронизации и автоматизации для повышения качества образования. Тенденции в системе образования направлены на внедрение и использование:

– мобильных устройств (ноутбуки, смартфоны, планшеты, Smart Watch и Google Glass) и технологий мобильного обучения,

- технологий облачного обучения (инструменты Google Classroom, Moodle, Blackboard, «Мобильная Электронная Школа» и др.),
- социальных сетей для взаимодействия преподавателей и обучающихся,
- технологии смешанного обучения в реальных аудиториях и виртуальной среде,
- технологий геймификации для реализации игровой формы учебного процесса.

Новые технологии определяют конвергентную модель интеллектуальной образовательной среды (Smart Learning Enviroment – SLE) для интеграции и синхронизации гетерогенных образовательных ресурсов и обучающих систем в рамках поддержки технологий электронного (e-learning), мобильного (m-learning), облачного (cloud learning), смешанного (blended learning) и повсеместного обучения (ubiquitous education). Необхо-

димость исследований в данной области знаний определяется эволюционным развитием информационных и телекоммуникационных технологий в направлении развития всепроникающих сетей и технологий повсеместного доступа 4A (Anytime, Anythere, Anything, Anybody) к образовательному контенту [1].

Термин «конвергенция» [2] в аспекте статьи означает процесс сближения ОП, стандартов, ЭОР, систем управления обучением и различных образовательных обусловленный технологий, необходимостью внедрения междисциплинарного обучения в процессе непрерывной подготовки специалистов. Процесс конвергенции связан с развитием информационнокоммуникационных технологий, так как с 1990-х гг. существует тенденция к интеграции компьютерных, телекоммуникационных и мульмедийных технологий и взаимопроникновению информационных технологий, когда инновации появляются в междисциплинарной области знаний [3–7].

Конвергентный подход также определяется как NBIC-конвергенция (N – нано, В – био, I – инфо, С – когнито) нано-, био-, информационных и когнитивных технологий [8] на основе их системно-синергетической интеграции [9]. Термин введен в 2002 г. учеными М. Роко и У. Бейнбриджем, которые определили особенности NBIC-конвергенции, проанализировали ее роль в развитии цивилизации [10]. В настоящее время в концепцию интегрируются социальные технологии, с помощью них исследуются поведенческие, речевые, психологические и другие способности человека [11, 12]. Сближение социальных, когнитивных и информационных технологий позволяет говорить о новой конвергентной модели образовательного процесса. При этом когнитивные и социальные технологии представляют собой систему методов и алгоритмов, моделирующих и усиливающих познавательные способности обучаемых при решении практических задач [13].

Конвергенция в образовании может быть реализована на разных уровнях в зависимости от сферы приложения, что позволяет определить ее следующие виды:

- а) образовательно-технологическая конвергенция в плане сближения и сходимости образовательных технологий, моделей жизненных циклов (ЖЦ) ОП и ЭОР;
- б) учебно-методическая конвергенция в плане сближения и сходимости ОП разных специальностей и ЭОР по разным дисциплинам;
- в) профессиональная конвергенция в плане сближения компетенций для различных видов профессиональной деятельности и требований работодателей;

- г) организационная конвергенция в плане сближения систем управления образовательным контентом (learning content management system LCMS), систем управления обучением (learning management system LMS) [14], систем управления учебной деятельностью (learning activity management system LAMS);
- д) когнитивно-креативная конвергенция в плане сближения творческих и когнитивных технологий при подготовке специалистов для профессиональной деятельности.

Результатом конвергенции является эволюционное развитие информационно-образовательной среды в направлении интеграции разных образовательных платформ, сервисов и технологий. Базовой инфраструктурой конвергентного образования является интеллектуальная образовательная среда (ИОС), которая должна поддерживать процесс непрерывного обучения в виде целостного цикла, предусматривающего изучение, исследование, творчество, анализ, дискуссию, публикацию, проектную деятельность и т.п.

Конвергентная модель ИОС определяет сближение, схождение, интеграцию образовательных технологий на основе единой технологической платформы с унифицированной системой представления образовательного контента, системой оценки знаний, системой управления учебным процессом. Модель реализует процессы:

- 1. Сближения моделей ЖЦ ОП, ЭОР и уровней подготовки специалистов;
- 2. Процесс сближения образовательных технологий (e-learning, m-learning, cloud learning, blended learning, ubiquitous learning) на базе единой ИОС.
- 3. Процесс интеграции кроссплатформенных LMS, LAMS, LCMS с единой облачной системой хранения образовательного контента и унифицированного повсеместного доступа с мобильных средств.
- 4. Процесс интеграции и адаптации механизмов управления и администрирования ИОС с обеспечением информационной безопасности.

Известно, что различные ОП проходят жизненные циклы (ЖЦ), в процессе которых происходит их конвергенция в отношении необходимости обязательного освоения компетенций в области информационных и телекоммуникационных технологий. Практически все ЖЦ соответствуют итеративной модели развития. В процессе реализации ОП применяется множество ЭОР, которые также проходят собственные ЖЦ и имеют тенденцию к сходимости образовательного контента.

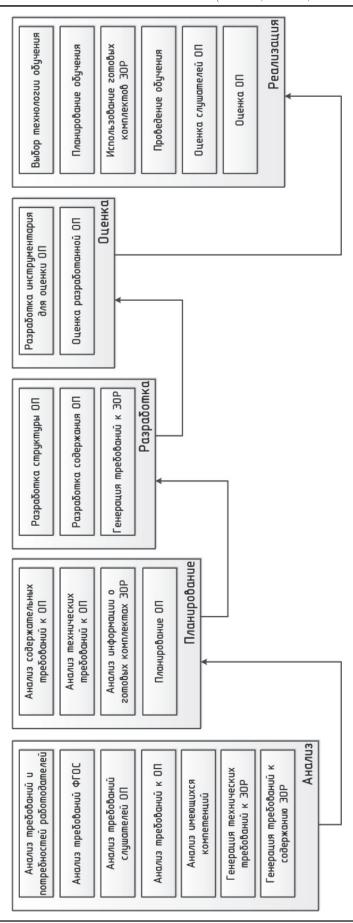


Рис. I. Методика создания ОП

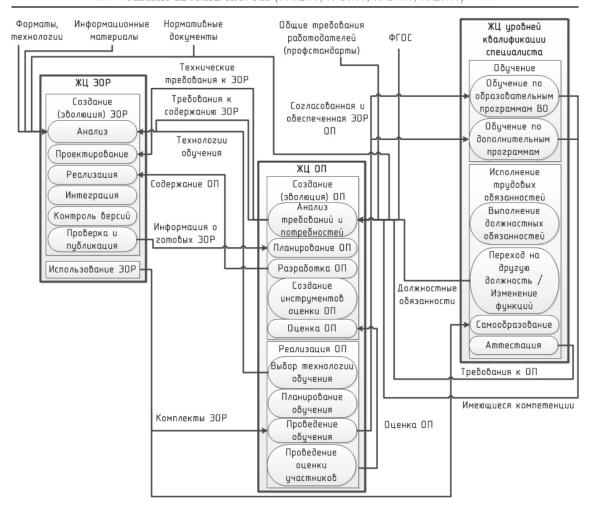
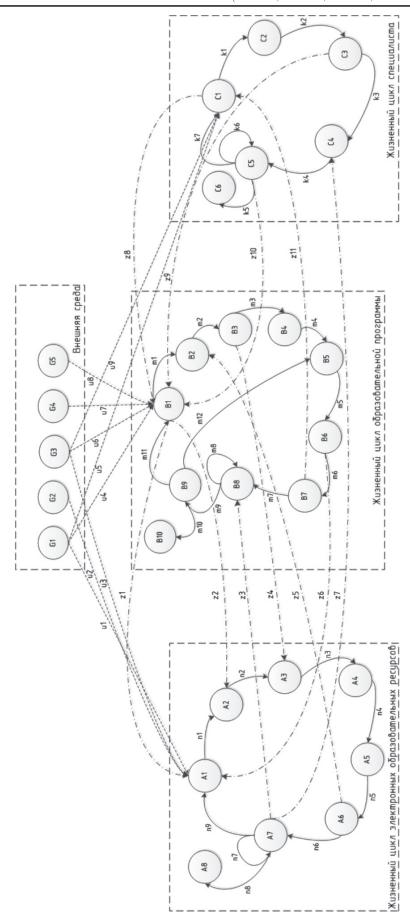


Рис. 2. Схема синхронизации жизненных циклов

Модель конвергентного образования определяет сближение компетенций, получаемых различными специалистами в рамках ЖЦ их собственных уровней квалификации и профессиональных знаний. ЖЦ специалиста включает профессиональную деятельность (исполнение трудовых обязанностей) и обучение (повышение квалификации) [15]. Для профессиональной деятельности специалист должен иметь базовый образовательный уровень, который он получает в ходе обучения по программам высшего образования или средпрофессионального образования. Однако научно-технологический прогресс, смена должности, изменение трудовых функций и т.п. требуют совершенствования имеющихся или приобретения новых компетенций, которые часто лежат за пределами квалификации специалиста. Получение новых компетенций часто требует освоения междисциплинарных знаний, что является сущностью конвергентной модели непрерывного образования. Специалист также должен постоянно заниматься самообразованием, чтобы его компетенции соответствовали постоянно изменяющимся требованиям работодателей. Однако одного самообразования часто недостаточно, чтобы получить новые компетенции. В этом случае специалисту требуется пройти обучение по дополнительным программам в рамках своей специализации, либо по новым программам при смене специальности. При этом ОП должны быть согласованы и синхронизированы с текущим уровнем подготовки специалиста и с изменяющимися требованиями работодателей. Требования к ОП для подготовки и переподготовки специалистов также базируются на требованиях образовательных стандартов. На ЖЦ ОП влияют:

- а) должностные обязанности,
- б) программы компетенции,
- в) пробелы в образовании специалистов, выявленные в ходе аттестации и т.д.





В рамках конвергентной модели разработана методика создания, синхронизации и согласования ОП по различным направлениям подготовки специалистов (рис. 1).

Первым шагом создания ОП является анализ требований работодателей. Следующим шагом создания ОП сбор информации о ЭОР, которые могут быть использованы в процессе обучения. Далее выполняется разработка ОП, ее структуры и содержания, которые учитываются при синтезе ЭОР. Кроме ОП необходимо создать инструменты оценки на соответствие требованиям стандартов и работодателей для определения степени ее готовности ОП к осуществлению учебного процесса либо необходимости доработки.

В процессе реализации ОП осуществляется выбор образовательных технологий и осуществляется планирование обучения, включающее составление графика и расписания занятий. Следующим шагом является проведение обучения с использованием ЭОР. Завершается реализация ОП оценкой полученных компетенций обучаемых. Методика позволяет создавать ОП, адаптированные к изменяющимся требованиям работодателей, законодательства и образовательных стандартов.

В ИОС основными компонентами для освоения большинства ОП являются ЭОР. Поэтому требования стандартов и работодателей фактически являются требованиями к ЭОР и, следовательно, ЖЦ ОП тесно связаны с ЖЦ ЭОР.

ЖЦ ЭОР включает этапы создания, использования, модернизации и морального старения. Процесс создания начинается с анализа технических требований (форматов и технологий, информационных материалов, нормативных документов), требований ОП и условий ее реализации (технологии обучения, требования к содержанию ЭОР). На основе анализа выполняется проектирование ЭОР. Дальнейшими шагами являются реализация (с учетом уточненной структуры и содержания материалов ОП), интеграция компонент ЭОР, тестирование и верификация ЭОР, проверка, публикация и сопровождение.

Таким образом, базовым процессом непрерывного образования является синхронизация и согласование ОП, ЭОР и уровней квалификации специалистов для реализации способов освоения новых компетенций из различных областей знаний в рамках конвергентной модели образования. Схема синхронизации ЖЦ представлена на рис. 2.

Для формализации процесса синхронизации ОП, ЭОР и специалиста разработана графовая модель (рис. 3). Модель представляет ориентированный псевдограф $M = \{F, S, X\}$, где F соответствует определению синхронизации ЖЦ в качестве псевдографа, S — матрица смежности, X — матрица инцидентности.

Для реализации ЖЦ ОП, ЭОР и уровней подготовки специалистов разработана унифицированная платформа ИОС на базе интеграции систем управления контентом (CMS Alfresco) и системы управления обучением (LMS Moodle). В рамках конвергентной модели ИОС разработана модель облачного хранилища образовательного контента. Конвергентная модель является платформой для согласования и синхронизации моделей ОП, ЭОР и уровней подготовки специалистов в плане непрерывной подготовки и переподготовки специалистов.

Результаты работы получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках грантов № 16-07-00031, 17-307-50010.

Список литературы

- 1. William Horton Designing Web-Based Training: How to Teach Anyone Anything Anywhere Anytime // Publisher: John Wiley & Sons. 2000. 640 p.
- 2. Конвергенция. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Конвергенция.
- 3. Родзин С.И., Титаренко И.Н. NBIC-технологии, искусственный интеллект и электронная культура: Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2013. № 2 (13). С. 1–14.
- 4. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий прорыв в будущее: Российские нанотехнологии. 2011. Т. 6, № 1–2. С. 13–23. URL: http://www.portalnano.ru/read/iInfrastructure/russia/nns/kiae/convergence_kovalchuk#1.
- 5. Финогеев А.Г., Камаев В.А., Финогеев А.А. и др. Конвергентная модель сбора и распределенной обработки данных в системах энергетического мониторинга SCADA систем: Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2015. № 3 (31). С. 58–75.
- 6. Finogeev A.G., Parygin D.S., Finogeev A.A. et al. A convergent model for distributed processing of Big Sensor Data in urban engineering networks: Journal of Physics: Proceedings of the International Conference on Information Technologies in Business and Industry. 2017. Vol. 803. P. 1–6. URL: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012112/pdf.
- 7. Finogeev A.G., Parygin D.S., Finogeev A.A. The convergence computing model for big sensor data mining and knowledge discovery / Human-centric Computing and Information Sciences. 2017. Vol. 7. P. 11. URL: http://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2Fs13673-017-0092-7.pdf.
- 8. Bainbridge M.S., Roco M.C. Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society. N.Y.: Springer, 2005. 390 p.
- 9. Финогеев А.Г. Моделирование исследования системно-синергетических процессов в информационных средах: монография. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2004. – 223 с.
- 10. Roco M., Bainbridge W. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Arlington. 2004. URL: http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf.
- 11. Курчатовский проект конвергентного образования. URL: http://habrahabr.ru/company/softline/blog/256703.
- 12. Черникова Д.В., Черникова И.В. Расширение человеческих возможностей: когнитивные технологии и их риски // Известия Томского политехнического университета. -2012.-T.321, № 6.-C.114-119.
- 13. Кудашов В.И. Социальные технологии в обществе знания: когнитивные аспекты // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 4. Вып. 1 (20). С. 58–64.
- 14. Finogeev A., Fionova L., Finogeev A. Thai Quang Vinh Learning Management System for the Development of Professional Competencies: Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Series «Communications in Computer and Information Science». 2015. Part XI. Vol. 535. P. 793–803.
- 15. Finogeev A., Fionova L. Elaboration of automated systems for development of professional competence: Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10. Issue 1. P. 7–11. URL: http://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjasci.2015.7.11.

УДК 661.666.4:658.261:665.6/.7

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КОМБИНИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОНАПОРНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Долотовский И.В., Попов А.И., Ушаков К.Г.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Capamoв, e-mail: dolotowsky@mail.ru

Предлагается ресурсоэнергоэффективная технология утилизации низконапорных углеводородных газов в системе комбинированной выработки технического углерода, электрической и тепловой энергии. Разработана технологическая схема установки, а также основные технические решения по перспективному нестандартному технологическому оборудованию. Конструкция реактора для пиролиза углеводородных газов обеспечивает непрерывный цикл эксплуатации с возможностью выработки различных марок технического углерода путем изменения режимных параметров. Сжигание на горелках реактора газовых, жидкофазных горючих отходов и пиролизного газа с последующим использованием теплоты продуктов сгорания для выработки энергоносителей обеспечивает повышение энергоэффективности и экологической безопасности установки. Приводится математическая модель материального баланса процесса генерации технического углерода в виде потокового графа и результаты его расчета для одного из режимов установки производительностью 0,5...5 м³/с по утилизируемому газу.

Ключевые слова: низконапорные углеводородные газы, утилизация, технический углерод, выработка энергии, ресурсосбережение, математическое моделирование, материальный баланс

ENERGY-TECHNOLOGICAL COMBINATION IN THE SYSTEM OF UTILIZATION OF LOW-PRESSURE HYDROCARBON GASES

Dolotovskiy I.V., Popov A.I., Ushakov K.G.

Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A., Saratov, e-mail: dolotowsky@mail.ru

The resource-energy efficient technology for utilization of low-pressure hydrocarbon gases in a system of combined production of technical carbon, electric and thermal energy is proposed. Developed the technological scheme of the installation, as well as the main technical solutions for perspective non-standard technological equipment. The design of the reactor for the pyrolysis of hydrocarbon gases provides a continuous cycle of operation with the ability to generate different grades of carbon black by changing the operating parameters. Combustion of gas, liquid-phase combusted wastes and pyrolysis gas on the reactor burners, followed by the use of the heat of combustion products for the generation of energy carriers, ensures an increase in the energy efficiency and environmental safety of the installation. Given a mathematical model of material balance of the process of generation of technical carbon in the form of a flow-graph and the calculation results for one of the modes for the installation with a capacity of 0.5 ... 5 m³/s for the utilization gas.

Keywords: low-pressure hydrocarbon gases, hydrocarbon recovery, black carbon, energy production, resource conservation, math modeling, material balance

На предприятиях нефтегазовой отрасли (ПНГО) утилизация низконапорных углеводородных газов (УВГ) и попутных нефтяных газов (ПНГ), сбрасываемых на факел в тех или иных технологических ситуациях, представляет актуальную производственную проблему. Решение этой задачи с использованием факельных установок связано с выбросами токсичных веществ в атмосферу, осложнением экологической обстановки в соответствующих районах расположения объектов и экономически невыгодно в связи со значительными платежами за загрязнение окружающей среды. Поэтому разработка типовых проектных решений энерготехнологического комбинирования в системах утилизации низконапорных УВГ и ПНГ позволяет решить ряд проблем, вызванных непосредственным сжиганием этих ценных технологических ресурсов на факелах.

Проведенный анализ технологий и технических решений по вовлечению

УВГ и ПНГ в энерготехнологический баланс ПНГО, предложенных в научных разработках ИХФ РАН имени Н.Н. Семенова, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [1, 2], ООО «Рэмнефтегаз» [3], ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» [4, 5], ЗАО ГК «Рус-ГазИнжиниринг» [6], Тюменского государственного нефтегазового университета и других организаций [7–9], показал, что в настоящее время доминирует энергетическое направление использования УВГ и особенно ПНГ. Нефтехимическое направление утилизации, хотя и является наиболее перспективным и экономически целесообразным, зависит от многих влияющих факторов и конъюнктуры рынка, что обусловливает необходимость системного подхода при его практической реализации. Как отмечается в [1, 2], основным препятствующим обстоятельством внедрения технических решений нефтехимического направления утилизации УВГ

и ПНГ является экономическая нерентабельность при производительности по готовой продукции менее 0,6 млн т/год. В данных условиях одним из вариантов утилизации низконапорных УВГ и ПНГ может быть переработка их на технический углерод (ТУ) [10], который широко используется в химической, резинотехнической промышленности, электротехнической, лакокрасочной, полиграфической и ряде других отраслей.

В отличие от действующих (например, производство термического ТУ на Сосногорском газоперерабатывающем заводе [11, 12]) разработанная установка [10] (рис. 1) имеет лучшие технико-экономические и экологические показатели: за счет реализации непрерывного процесса пиролиза повышается выход продукции и исключается ее выброс в окружающую среду; этому же способствует утилизация пиролизного газа на горелках реактора.

При работе установки газообразное сырье (УВГ и ПНГ) поступает в реакционную камеру реактора 1, где под действием теплового излучения происходит пиролиз сырья и образование сажегазовой смеси.

Охлажденная в устройстве испарительного охлаждения 2 сажегазовая смесь, содержащая водяные пары, поступает в фильтр 3. Особенностью реактора является раздельный вывод из него дымовых газов — из горелочных камер, и сажегазовой смеси — из реакционной камеры.

Осушка пиролизного газа от водяных паров осуществляется в эжекторном скруббере 7. Осушенный пиролизный газ газодувкой 4 подается на горелки реактора, а также на обратную продувку фильтрующей поверхности фильтра. Перемещение техуглерода от фильтра 3 к циклону 10 осуществляется системой пневмотранспорта; транспортирующий агент перемещается газодувкой 6. Воздух на горелки подается дутьевым вентилятором 5.

Для утилизации теплоты дымовых газов, получающихся в результате сжигания топливного и осушенного пиролизного газов в реакторе, установлен котел-утилизатор 13. Вырабатываемый в котле-утилизаторе перегретый пар направляется далее в паровую турбину 14 с целью получения электроэнергии для собственных нужд установки и ПНГО.

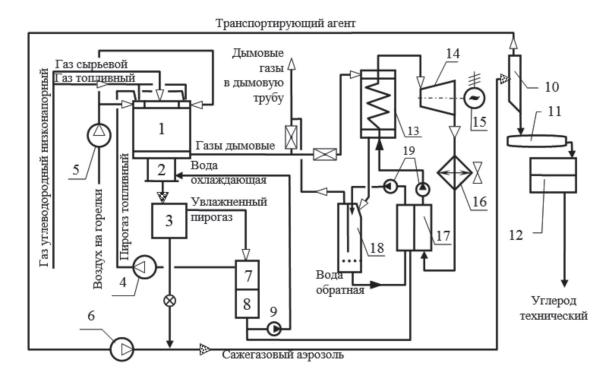
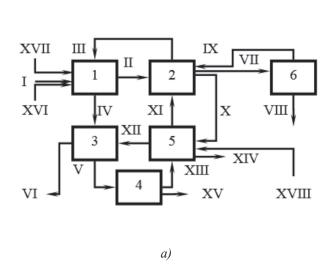
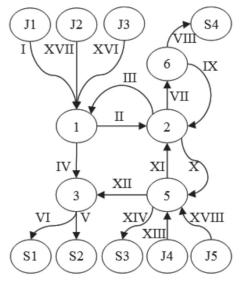


Рис. 1. Технологическая схема утилизации низконапорного УВГ: 1 — реактор; 2 — охладитель сажегазовой смеси; 3 — фильтр; 4, 6 — газодувки; 5 — вентилятор; 7 — блок подготовки пирогаза; 8 — блок охлаждения воды; 9, 19 — насосы воды; 10 — циклон-уплотнитель; 11 — барабан грануляционный; 12 — блок подготовки товарного технического углерода; 13 — котел-утилизатор; 14 — паровая турбина; 15 — электрогенератор; 16 — конденсатор (аппарат воздушного охлаждения); 17 — блок подготовки питательной и очищенной воды; 18 — эжекционный охладитель



1—4— блоки: 1— реакторный; 2— технологического кондиционирования пирогаза; 3— выработки тепловой энергии; 4— генерации электроэнергии; 5—6— системы: 5— подготовки обессоленной и охлаждающей воды; 6— транспорта сажегазового аэрозоля и подготовки товарного TV



J1...J5 – вершины – источники материальных потоков; S1...S4 – вершины – стоки материальных потоков

б)

I— газ сырьевой; II— продукты реакции; III— топливный пирогаз; IV, VI— газы дымовые; V— водяной пар; VII— сажегазовый аэрозоль; VIII— углерод технический; IX— транспортирующий агент; X, XI, XVIII— вода нагретая, охлаждающая, обессоленная, техническая; XIII— паровой конденсат; XIV— дренаж; XV— электроэнергия; XVI— топливный газ; XVII— воздух

Рис. 2. Структурная схема базового варианта установки (а) и материальный потоковый граф (б)

Дымовые газы после котла направляются в эжекционный охладитель 18, где происходит конденсация содержащихся в них водяных паров в объеме факела воды, создаваемого форсунками. Нагретая обратная вода из эжекционного охладителя поступает в блок подготовки питательной и очищенной воды, а также может подаваться в систему теплоснабжения ПНГО. При автономной работе реакторного блока дымовые газы направляются через эжекционный охладитель в дымовую трубу. В нештатных ситуациях дымовые газы сбрасываются в дымовую трубу без утилизации теплоты.

В предлагаемой установке качество получаемого товарного ТУ значительно выше, по сравнению с известными установками, поскольку ТУ содержит меньше посторонних включений, вносимых с охлаждающей водой на испарительное охлаждение сажегазовой смеси в охладитель 2. Это обеспечивается прогрессивными техническими решениями, примененными в системе фильтрации 3, в блоках подготовки (осушки и охлаждения) пирогаза 7 и подготовки охлаждающей воды 8. Кроме того, требуемая

чистота конденсата, подаваемого насосом 9, обеспечивается подпиткой системы испарительного охлаждения сажегазовой смеси дистиллятом технической воды, получаемой в эжекционном охладителе дымовых газов 18. Уменьшению содержания посторонних включений в товарном техуглероде способствует также перемещение сажегазового аэрозоля с помощью системы пневмотранспорта.

Во взаимосвязанных аппаратах и агрегированных устройствах разработанной установки осуществляются термохимические, теплообменные, электрические, механические, массообменные процессы. Для расчета и выбора соответствующего оборудования требуется разработка технического проекта с учетом специфики перечисленных процессов, влияния климатических, технико-экономических факторов, структивных характеристик унифицированных и вновь разрабатываемых аппаратов. При этом конструктивные и эксплуатационные характеристики установки должны удовлетворять выбранному критерию эффективности.

Решение данной задачи с учетом влияния всех факторов в условиях проектирования, эксплуатации и динамики состава УВГ и ПНГ невозможно без применения принципов системных исследований и математического моделирования. Последовательность математического моделирования установки состоит из следующих основных этапов [12]:

- разработка структурных и операционных схем альтернативных вариантов;
- математическое моделирование отдельных элементов (аппаратов) на основе аналитического, экспериментального, комбинированного методов;
- структурно-параметрический синтез установки, удовлетворяющей оптимальному критерию эффективности.

На первом этапе в качестве базового варианта принята технологическая схема установки, приведенная на рис. 1. На структурной схеме этого варианта, используемой для разработки функциональных моделей материального и энерготехнологического балансов (рис. 2, а), показаны связи отдельных блоков по физическим потокам. Каждый блок объединяет несколько аппаратов установки. В процессе математического моделирования структурная схема модифицируется в зависимости от типа решаемых задач.

При разработке материального баланса соединяющие отдельные блоки дуги соответствуют обобщенным материальным потокам (рис. 2, δ). Материальный баланс для установки в целом и для отдельных блоков определяется при решении системы уравнений, которая позволяет определить шесть независимых переменных (массовые расходы материальных потоков G_I ... G_{XVIII}) при условии, что остальные одиннадцать расходов материальных потоков являются заданными величинами:

$$\begin{split} G_{I} + G_{XVI} + G_{XVII} + G_{III} &= G_{II} + G_{IV} \;, \\ G_{II} + G_{IX} + G_{XI} &= G_{III} + G_{VII} + G_{X} \;, \\ G_{IV} + G_{XII} &= G_{V} + G_{VI} \;, \\ G_{X} + G_{XIII} + G_{XVIII} &= G_{XI} + G_{XII} + G_{XIV} \;, \\ G_{VII} &= G_{VIII} + G_{IX} \;, \\ G_{I} + G_{XIII} + G_{XVI} + G_{XVIII} + G_{XVIII} &= \\ &= G_{V} + G_{VI} + G_{VIII} + G_{XIV} \;. \end{split}$$

Расчет материальных балансов отдельных аппаратов, агрегатов и блоков выполняется с использованием разработанных математических моделей этих элементов

установки [12]. Например, для реакторного блока количество воздуха G_{XVII} , необходимого для процесса образования углерода, а также полученных продуктов реакции G_{II} (технического углерода G_{VIII} и газов пиролиза G_{III}), определялось из уравнений балансов углерода, водорода, азота и кислорода [11, 12] в соответствующих потоках на входе и выходе реактора:

углерод —
$$G_{C_{I}} = G_{C_{VIII}} + g_{C_{IX}} \cdot V_{IX}$$
, водород — $G_{H2_{I}} = G_{H_{VIII}} + g_{H2_{IX}} \cdot V_{IX}$, азот — $G_{N2_{XVII}} = g_{N2_{IX}} \cdot V_{IX} + g_{N2_{IV}} \cdot V_{IV}$, кислород — $G_{O2_{XVII}} = G_{O_{VIII}} + g_{O2_{IX}} \cdot V_{IX} + g_{O2_{IV}} \cdot V_{IV}$,

где $g_{C_{IX}}$, $g_{H2_{IX}}$, $g_{N2_{IX}}$, $g_{N2_{IV}}$, $g_{O2_{IV}}$, $g_{O2_{IV}}$, — содержание углерода, водорода, азота, кислорода в соответствующих газовых потоках; V_{IV} , V_{IX} — объемные расходы продуктов сгорания и транспортирующего агента (отходящих газов); G_{C_I} , $G_{C_{VIII}}$, G_{H2_I} , G_{HVIII} — масса углерода и водорода в сырьевом газе и техническом углероде; $G_{N2_{XVIII}}$, $G_{O2_{XVIII}}$ — масса азота и кислорода в поступающем потоке воздуха.

Если в качестве сырья кроме газовой фазы подаются жидкие углеводороды, то в левой части уравнений баланса углерода и водорода добавляются массовые расходы этих компонентов в жидкофазном потоке на входе в реактор.

Массовые расходы водяных паров, входящих в продукты реакции (поток II), и воздуха (поток XVII) определяются по соответствующим балансовым уравнениям:

С использованием разработанных математических моделей отдельных аппаратов, агрегатов и блоков установки утилизации низконапорных УВГ ПНГО выполнен рас-

чет материальных балансов для различных эксплуатационных режимов, отличающихся составом сырьевого и топливного газов. В стационарном режиме установка имеет следующие основные технические характеристики:

- объемная производительность по утилизируемому газу 0,5...5 нм $^3/c$;
- относительный выход ТУ из углерода утилизируемого газа (в зависимости от марки) 15...40% по массе;
- относительное количество теплоты, вырабатываемой в системе утилизации дымовых газов (10...15) МДж/м³ утилизируемого газа;
- удельное потребление электроэнергии на собственные нужды 1120 кВт×ч/тонну ТУ;
- удельная выработка электроэнергии 1430 кВт×ч/тонну ТУ.

Результаты расчета для одного из режимов, когда в качестве сырья используется газ природный стандартный, приведены на рис. 3.

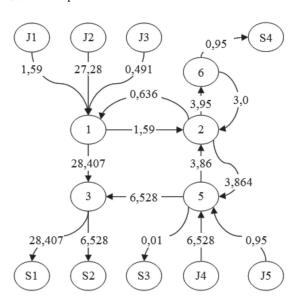


Рис. 3. Материальный баланс (кг/с) установки утилизации УВГ

На этапе синтеза установки с указанными выше расходными характеристиками материальных потоков применено типовое оборудование в системе генерации тепловой и электрической энергии – котел-утилизатор КУ-150М, турбина с противодавлением без регулируемого отбора пара P-4-35/5, конденсатор воздушного охлаждения AB3—20-0.6-B3-T2/6-1-6 (ТУ 26-02-1043-87).

Таким образом, реализация принципов интеграции технологических и энергетических процессов в производственном цикле системы утилизации низконапорных УВГ и ПНГ ПНГО позволяет осуществить автономное энергообеспечение и выработку технического углерода при высокой степени конверсии сырья и экологической безопасности.

Работа выполнена в рамках госзадания при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Список литературы

- 1. Утилизация сбросных углеводородных газов / В.С. Арутюнов [и др.] // Газовая промышленность. 2000. № 3. С. 62–64.
- 2. Арутюнов В.С. Новые технологии утилизации природных и попутных газов // Нефть + газ. Инновации. $2009.- N\!\!_{2} 2.- C. 57-62.$
- 3. Коваль В.Н. Космические технологии утилизации попутного газа / В.Н. Коваль, В.А. Фатихов // Газовая промышленность. 2011. № 4. С. 76–78.
- 4. Утилизация низконапорных углеводородных газов различного состава / И.Г. Лачугин [и др.] // Газовая промышленность. 2013. № 4. С. 88–89.
- 5. Современные технологии переработки низконапорного газа и предпосылки их реализации / С.Н. Меньшиков [и др.] // Газовая промышленность. 2014. № S716 (716). С. 56–59.
- 6. Зиберт А.Г. Инновационные технологии и оборудование по утилизации попутного нефтяного газа / А.Г. Зиберт, Г.К. Зиберт // Газовая промышленность. 2011. № 6. С. 80—82.
- 7. Финько В.Е. Производство электроэнергии из факельных газов / В.Е. Финько, В.В. Финько // Газовая промышленность. -2006. -№ 2. C. 84-88.
- 8. Медведев Б.И. Технологии переработки попутного нефтяного газа / Б.И. Медведев, Л.Ю. Кондратьева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2008. № 5. С. 9–11.
- 9. Васильева Е.А. Получение сажи как один из способов утилизации ПНГ / Е.А. Васильева, О.А. Калименева, Г.Ф. Мурзакаева // Экспозиция «Нефть. Газ». 2013. № 1 (26). С. 8–10.
- 10. Заявка 2017109929 РФ, МПК С09С1/54. Установка для производства технического (термического) углерода из газообразного углеводородного сырья / И.В. Долотовский. № 2017109929; заявл. 17.03.2017.
- 11. Зуев В.П. Производство сажи / В.П. Зуев, В.В. Михайлов. М.: Химия, 1965. 328 с.
- 12. Долотовский И.В. Энергетический комплекс предприятий подготовки и переработки газа. Моделирование и структурно-параметрическая оптимизация / И.В. Долотовский. Саратов: Амирит, 2016. 400 с.

УДК 624.139:625:553.98

ТРУБОПРОВОДНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ ПРИ ОБУСТРОЙСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Иванов В.А., Соколов С.М., Огудова Е.В.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: ivanov v a@list.ru

Настоящая статья посвящена вопросу сооружения временных и постоянных дорог при обустройстве нефтяных и газовых месторождений и при ликвидации аварий на магистральных трубопроводах. Приведены технико-экономические показатели различных видов временных дорожных покрытий и их классификация по капитальности и назначению. Была установлена динамика и структура грузооборота промысловых дорог на примере месторождений Западной Сибири. Было показано влияние степени развития сети подъездных дорог на показатели надежности объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа. Даны рекомендации по повышению ремонтопригодности трубопроводов, а также по увеличению срока службы и уменьшению стоимости сооружения дорожных покрытий посредством применения геосинтетических материалов совместно с местными материалами. В целях оптимизации процесса сооружения временных дорог предлагается поэтапная схема проведения работ.

Ключевые слова: временные дороги, обустройство месторождений, магистральные трубопроводы, ликвидация аварий

CONSTRUCTION OF PIPELINES AND AUTOROADS AS OIL AND GAS FIELD FACILITIES

Ivanov V.A., Sokolov S.M., Ogudova E.V.

Federal Autonomous Budgetary Educational Institution of Higher Education Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: ivanov v a@list.ru

This article is dedicated to the issue of temporary and permanent road construction while constructing oil and gas field facilities and while trunkline accident response. Technical-and-economic indices of various temporary roads and their classification by stability and purpose were described. The dynamics and the structure of field road supply turnover were determined by the example of West-Siberian fields. The impact of road network development on trunkline reliability indexes was shown. Recommendations on maintainability and service lifetime increase and construction cost decrease by the use of geosynthetics and nearby material were given. Due to optimize temporary road construction process the staged scheme of work performance was recommended.

Keywords: temporary roads, field facilities, trunk lines, accident response

При сооружении линейной части трубопроводов и обустройстве нефтегазовых месторождений в первую очередь решаются вопросы обеспечения проезда строительной и технологической техники. При этом подъезды к трубопроводам и площадным объектам месторождений, как правило, намечаются с учетом существующей сети дорог местного значения. Во многих случаях это требует их реконструкции, усиления мостов и частичной замены других инженерных сооружений.

Состояние вопроса

Обустройство месторождений нефти и газа в необжитых районах тесно связано с трассировкой и строительством новых дорог. Редкая сеть существующих дорог, заболоченность, отсутствие судоходности рек делают большинство таких районов труднодоступными.

При обустройстве месторождений обычно применяется коридорный метод прокладки всех коммуникаций. В транспортном обеспечении месторождений и трубопроводного строительства исклю-

чительное значение имеют зимники, временные дороги и опережающее строительство постоянной сети промысловых дорог. Основным строительным материалом при этом является грунт, объем которого для объектов обустройства месторождений и строительства дорог составляет десятки миллионов кубометров.

Цели и задачи работы

На основе анализа существующих решений по сооружению временных и постоянных дорог при обустройстве газовых и нефтяных месторождений, технико-экономических показателей различных видов временных дорожных покрытий была установлена динамика и структура грузооборота промысловых дорог на примере месторождений Западной Сибири. Показать влияние степени развития сети подъездных дорог на показатели надежности объектов магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа. Дать рекомендации по повышению ремонтопригодности трубопроводов, а также по увеличению срока службы и уменьшению стоимости сооружения дорожных покрытий посредством применения геосинтетических материалов совместно с местными материалами.

Результаты исследования и их обсуждение

Опыт обустройства нефтяных месторождений Западной Сибири, таких как Западно-Сургутское, Федоровское, мотлорское и др., показывает, что в связи с опережающим строительством промысловых трубопроводов прокладка их осуществлялась с зимников и лежневых дорог в основном в зимнее время. Внешняя доставка грузов на трассы трубопроводов осуществлялась по строящимся промысловым дорогам. В ряде случаев прокладка трубопроводов осуществлялась с земляного полотна дорог, сооружаемых гидронамывным способом, примером могут служить Самотлорское, Холмогорское, Муравленковское, Суторминское и ряд других месторождений [1, 2].

Строительство промысловых трубопроводов в едином технологическом коридоре с автодорогами значительно облегчало подвоз труб, оборудования и других грузов. При параллельной прокладке промысловых трубопроводов для распределения грузов вдоль новых трасс в ряде случаев использовались ранее построенные лежневые дороги. Аналогично ведется строительство промысловых газопроводов и автодорог на газовых месторождениях.

В соответствии с нормами временные дороги для трубопроводного строительства подразделяют на вдольтрассовые, подъездные и технологические. Техническая классификация дорог для трубопроводного строительства приведена в табл. 1, а их технико-экономические показатели в табл. 2.

Вдольтрассовые дороги, предусмотренные на период строительства трубопрово-

дов, в процессе эксплуатации используются для осмотра, ревизии и ремонта трубопроводов. Однако строительство вдольтрассовых дорог сопряжено с большими капитальными затратами, трудоемко и значительно увеличивает сроки строительства самих трубопроводов. Протяженность лежневых дорог на трубопроводах Западной Сибири в условиях заболоченности достигает 10—15% общей длины дорог [2—4].

Конструкции временных вдольтрассовых дорог весьма многообразны по набору материалов для их сооружения. Основные конструктивные решения временных дорог: грунтовые, грунтово-лежневые, снежно-ледово-грунтовые (грунто-снежно-ледовые), в последнее время с использованием в конструкциях современных геосинтетических материалов. Как правило, дорожные одежды временных дорог назначаются низшего типа путем улучшения грунтов верхнего слоя земляного полотна скелетными добавками, щебенистыми и гравелистыми грунтами. С применением геосинтетики, особенно геосеток и объемных ячеистых конструкций, армирование слабых оснований, земляного полотна временных дорог и устройство низших типов дорожных одежд более эффективно.

В труднопроходимых местах, остающихся после окончания строительства, временные дороги при эксплуатации трубопроводов должны улучшаться и переводиться в постоянные круглогодичные действия [5, 6].

В структуре грузооборота при строительстве трубопроводов наиболее высока доля основного груза, так стальные трубы, для газопроводов составляют 70–80% общего объема, для нефтепроводов – 85–95%. Доля грузов балластировки составляет для газопроводов – 10–25% и для нефтепроводов до 1%, доля металлоконструкций и оборудования – 4–5%.

 Таблица 1

 Техническая характеристика временных дорог для трубопроводного строительства

Расчетная скорость движения, км/час	Расчетная грузо- напряженность, млн т брутто/год	Назначение дорог	Тип транспортных средств	Интенсивность движения, ед./сут.
70	3–10	Подъездные, вдольтрассовые	Автомобильный	1000–3000
50	0,6–3,0	Подъездные, вдольтрассовые	Автомобильный	200–1000
35	0,3–0,6	Подъездные, вдольтрассовые	Автомобильный	до 200
15	до 0,3	Подъездные, технологические	Автомобильный, автотракторный, тракторный	до 200

Таблица 2
Технико-экономические показатели дорог для трубопроводного строительства

Тип дорог и основные типы покрытий	Средняя техническая скорость грузовых автомобилей, км/час	Средняя строительная стоимость, млн руб./км	Ежегодные затраты на ремонт и содержание, млн руб./км	Стоимость перевозки грузов, руб/т. км
1. Бездорожье	5–10	_	_	26–37
2. Автозимники	10–15	0,15-0,4	0,1-0,2	21–30
3. Автозимники улучшенные	20–25	1,4–2,3	0,2-0,3	13–19
4. Грунтовые	15–25	6,5–8,5	0,2-0,4	13–18
5. Грунтовые с покрытием (щебеночное, гравийное)	30–40	12–15	0,6–0,7	7–10
6. Грунтовые с покрытием (сборный железобетон)	50–55	32–75	0,4–0,6	4–6

При освоении нефтяных месторождений применяют две сети промысловых дорог, отличающихся кардинально по капитальности и назначению. Первая сеть дорог обеспечивает транспортными связями крупные промысловые площадки, дожимные и кустовые насосные станции, комплексные сборные пункты, товарные парки, вахтовые поселки, а также обеспечивает внешний выход с месторождений. Данная сеть дорог строится в капитальном исполнении, имеет покрытие из железобетонных дорожных плит, собранных и предварительно напряженных и, в связи с развитием баз стройиндустрии, с покрытием из асфальтобетона.

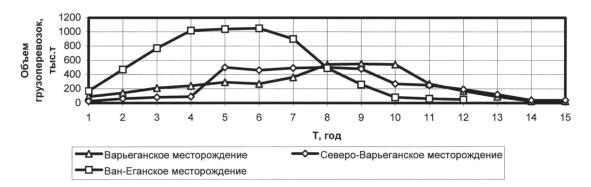
Вторая сеть дорог соединяет площадки кустов и одиночных скважин, подстанций, обеспечивает подъезды к технологическим площадкам, другим объектам второго порядка. Данная сеть дорог строится в грунтово-лежневом и грунтовом исполнении, как правило, с переходным типом дорожной одежды.

Назначение промысловых дорог — обеспечение бурения скважин, обустройства и эксплуатации нефтяных месторождений. В настоящее время связь с промышленными и административными центрами нефтедобывающих районов, крупными вахтовыми поселками, городами, портами, причалами, железнодорожными станциями, производственными базами осуществляется по дорогам общего пользования.

Дороги нефтяных и газовых промыслов подразделяются на межпромысловые и внутрипромысловые. К межпромысловым относятся дороги, соединяющие между собой отдельные месторождения и промбазы. К внутрипромысловым — дороги, служащие для обеспечения транспортной связью промысловых объектов в пределах одного месторождения.

Минимальный срок службы промысловых дорог ограничивается периодом эксплуатации месторождений, составляющим обычно около 30 лет. Максимальный срок определяется последующей перспективой технико-экономического развития района в целом. Это указывает на то, что промысловые дороги должны относиться к постоянным дорогам капитального типа, минимальный срок службы которых составляет два межремонтных периода, определяемых строительными нормами для капитального ремонта дорог с усовершенствованным капитальным типом покрытий.

Существенной особенностью промысловых дорог является динамика изменения по ним грузоперевозок. Несмотря на различие объектов и динамики их освоения, общими для них является рост грузоперевозок, относительно короткая по сроку стабилизация и, как правило, резкий спад во времени. Основной объем грузоперевозок связан с бурением и обустройством месторождений, который составляет в среднем 5-10 лет. В последующий период эксплуатации месторождения, продолжительность которого достигает 20-25 лет, грузоперевозки определяются профилактическими и ремонтными работами и объем их от максимального объема в период бурения и обустройства незначителен. Аналогичную динамику грузоперевозок можно отнести и к отдельным промысловым объектам - кусты скважин, комплексные сборные пункты, дожимные и кустовые насосные станции и т.п. Отличием является меньший объем грузоперевозок и более короткий период их завоза, например, на куст скважин - не более года. Интенсивность транспортных средств в период бурения кустовой площадки может достигать 100 авт./сут, в эксплуатационный период интенсивность падает до 8–10 авт./сут. [7–9].



Динамика объема грузоперевозок по месторождениям

Общий объем грузоперевозок по дороге складывается из потребности во времени грузов для различных промысловых объектов. Пример динамики перевозки грузов по промысловым дорогам для ряда месторождений приведен на рисунке.

При обустройстве нефтяных месторождений структура грузооборота в среднем следующая: для мелких месторождений с запасами нефти до 10 млн т объем грузов может составлять 0,5—0,7 млн т/год, для средних месторождений с запасами нефти до 30 млн тонн — в пределах 1,0 млн т/год и для крупных месторождений с запасами нефти 250—300 млн т — 4,5—5,0 млн т/год. При этом потребность в грузах на бурение составляет около 50%, на обустройство приходится 35—40% и на эксплуатацию 10—12% всех грузов. По мере ввода скважин в эксплуатацию доля грузов на эксплуатационный период возрастает [10, 11].

Масштабность перевозок при строительстве магистральных газопроводов хорошо иллюстрируют фактические расстояния, связанные с автомобильными перевозками. Так, например, при строительстве системы газопроводов «Ямал — Центр» и «Ямал-1» сложившиеся расстояния автоперевозок по участкам составили:

Харасавей — Бованенково — 150 км КС Байдарацкая — Бованенково — 136 км Сеяха — Бованенково — 175 км Паюта — Бованенково — 328 км Паюта — КС Байдарацкая — 230 км Харп — Лабытнанги — 43 км Хальмер — КС Ярынская — 140 км Лабытнанги — Бованенково — 530 км

Для ликвидации аварий и их последствий, проведения ремонтных работ на магистральных трубопроводах формируются службы с аварийно-восстановительными пунктами (АВП), которые располагаются преимущественно в районах насосных или компрессорных перекачивающих станций. На месторождениях нефтяных и газовых

промыслов ремонтно-восстановительные службы обычно входят в его состав.

При длительной эксплуатации магистральных нефтепроводов возникают аварийные утечки продукта. Аварийные ситуации на нефтепроводах непосредственно связаны со сроками их эксплуатации, в последние годы эти ситуации компенсируются уменьшением загрузки нефтепроводов.

Анализ показывает, что по срокам эксплуатации действующие магистральные нефтепроводы распределяются следующим образом:

- трубопроводы, находящиеся более 30 лет в эксплуатации, составляют 25,3%,
 - от 20 до 30 лет 29,0%,
 - от 10 до 20 лет 33,9%,
 - до 10 лет 11,8 %.

При этом почти 45% всех магистральных нефтепроводов приходится на Западную Сибирь. Уровень надежности магистральных газопроводов для районов Западной Сибири составляет 0,25–0,30. Это удовлетворяет требованиям эксплуатации, охраны окружающей среды и надежности системы в целом. Однако при утечках идет потеря определенного количества продукта, в связи с чем необходимо обеспечить возможность ликвидации аварии в кратчайшие сроки [12, 13].

На оценку ремонтопригодности трубопроводов (интенсивность отказов и среднее время восстановления) в первую очередь влияет наличие сети дорог, по которым может обеспечиваться доставка всего комплекса технических средств к месту аварии. Для трубопроводов диаметром свыше 1020 мм магистрального исполнения в северных условиях Западной Сибири время ликвидации отказа в среднем составляет: при аварии -76–116 ч, при аварийной остановке трубопровода – 50–126 ч. Зона обслуживания аварийно-восстановительного пункта на магистральном трубопроводе составляет 50 км. При скорости движения, указанной в табл. 1, и аварии в середине зоны обслуживания

подъезд к месту аварии по бездорожью составит 3–5 часов, по автодороге со сборным железобетонным покрытием около 1 часа. При возникновении необходимости возведения насыпного грунтового проезда или лежневой дороги подъезда к месту аварии время значительно увеличивается.

Существуют четко обозначенные основные коридоры нефтегазотранспортных систем на территории Тюменской области, в районах нефтегазодобыч. В каждом коридоре уложено по 3–5 параллельных ниток трубопроводов больших диаметров. Если расположение такого коридора существенно удалено от основных автомобильных дорог (Тюмень – Ханты-Мансийск, Тюмень – Ноябрьск) или действующих межпромысловых дорог, то есть потребность в строительстве постоянной вдольтрассовой дороги для обеспечения надежной эксплуатации и круглогодичного доступа к трубопроводу для выполнения строительно-монтажных работ. На территории Тюменской области очень густая сеть автомобильных дорог различного значения, а трубопроводные системы преимущественно идут параллельно им или в едином коридоре коммуникаций. Для подъезда к месту аварии необходимо шире использовать секционные дороги индустриального изготовления, а также грунтовые дороги с упрочняющей системой верхнего слоя объемными геоячейками типа «Прудон-494» с заполнением местным грунтом, что позволит обеспечить пропуск аварийной и строительной техники. Строительство временных дорог с различными типами сборно-разборных покрытий, применением геосеток и геоячеек вместо устраиваемых лежневых дорог и грунтовых с нетканым синтетическим материалом на водонасыщенных, переувлажненных и заболоченных участках позволит значительно сократить сроки строительства, снизить их стоимость и трудозатраты.

Строительство временных дорог при сооружении трубопроводов обычно выполняется в три этапа. На первом этапе строятся временные дороги от пунктов поступления материально-технических ресурсов до мест базирования и временных перевалочных баз. На втором этапе сооружаются дороги от мест базирования до участков работ. На третьем этапе строятся вдольтрассовые и подъездные дороги, обеспечивающие работу механизированных колонн.

Поэтапное строительство временных дорог при сооружении трубопроводов позволяет сосредоточить усилия, внимание и средства на оптимальной последовательности выполнения комплекса подготовительных работ [14, 15].

Опыт по строительству автодорог при обустройстве месторождений, прокладке

магистральных и промысловых трубопроводов в Западной Сибири с учетом зарубежной практики позволил обеспечить освоение Западно-Сибирского нефтегазового комплекса в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами. В настоящее время накопленный опыт, в силу сложившихся обстоятельств и разобщения компаний нефтегазового комплекса, частично забыт, однако его использование в практике дорожного и трубопроводного строительства необходимо и целесообразно.

Список литературы

- 1. Казакова Н.В. Исследование напряжений земляного полотна промысловых автодорог силами морозного пучения грунтов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / H.B. Казакова; ТюмГНГУ. Тюмень, 2000. 24 с.
- 2. Иванов В.А. Организационно-производственные мероприятия по строительству и капитальному ремонту магистральных трубопроводов: учебное пособие / В.А. Иванов, А.В. Рябков. Тюмень: ТИУ, 2017. 80 с.
- 3. Кретов В.А. Концепция автодорожного обеспечения эффективного функционирования системы трубопроводов Западной Сибири [Рукопись]: дис. . . . д-ра техн. наук: 05.15.13; 05.23.11 / В.А. Кретов; ТюмГНГУ. Тюмень, 1999. 401 с.
- 4. Иванцов А.В. Анализ практического опыта применения геоинформационных технологий в проектировании разработки и обустройства нефтяных месторождений [Текст]/: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17 / А.В. Иванцов; ТНИПИН. Уфа, 2005. 160 с.
- 5. Шевчик В.С. Динамика развития производственной инфраструктуры нефтедобычи на Севере Тюменской области [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17; 05.02.13 / В.С. Шевчик; ТюмГНГУ. Тюмень, 2005.-140 с.
- 6. Проектирование промысловых трубопроводов в коридорах коммуникаций в сложных условиях / С.М. Соколов, С.В. Кисев // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. -2014. -№ 4. -C. 77-79.
- 7. Проектирование разработки и обустройства месторождений как составная часть нефтегазового сервиса / С.М. Соколов, В.А. Горбатиков // Нефтяное хозяйство. $2008.-N_{\rm 2}9.-C.14$ –15.
- 8. Фуникова Е.Н., Огудова Е.В. Основные геологические и геодинамические риски при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг / Нефтегазовый Терминал, сборник научных статей памяти профессора Н.А. Малюшина. Тюмень: ТИУ, 2016. № 10. С. 118–122.
- 9. ВСН 2-105-78. Инструкция по строительству временных дорог для трубопроводного строительства в сложных условиях (на обводненной и заболоченной местности). М.: Миннефтегазстрой, 1978.
- 10. Абрамян С.Г. Управление экологичностью реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов / С.Г. Абрамян. Волгоград: Волгоградский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2007. 66 с.
- 11. Voronin K.S., Ogudova E.V. The effect of dynamic processes in the system «pipe-soil» on the pipeline deviation from design position/IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Cep. «International Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists «Transport and Storage of Hydrocarbons»». 2016. C. 012–019.
- 12. Соколов С.М., Горбатиков В.А. Обустройство нефтяных месторождений Западной Сибири: от принципов обустройства до проблем модернизации // Нефтяное хозяйство. 2010. № 5. С. 22–25.
- 13. Харитонов В.А. Строительство магистрального трубопровода нефти и газа [Текст]: монография / В.А. Харитонов. М.: Ассоциация строительных вузов, 2008. 485 с.
- 14. Иванов В.А. Аварийно-восстановительные работы на трубопроводах: учебное пособие / В.А. Иванов, А.В. Рябков, Б.П. Елькин. Тюмень: ТИУ, 2016. 76 с.
- 15. Сооружение и ремонт подводных переходов магистральных трубопроводов / В.А. Иванов, С.М. Соколов, И.Г. Силина, Е.А. Гильмияров. Тюмень: Тюменский дом печати, 2016. 256 с.

УДК 665.753.2:543.544.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГУЩАЮЩЕЙ ПРИСАДКИ «МАКСОЙЛ ВЗ-011» В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАСЛАХ МЕТОДАМИ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И ВЭЖХ

Красная Л.В., Чернышева А.В., Гаврилов П.А., Зуева В.Д., Балак Г.М., Кузнецова О.Ю., Приваленко А.Н.

ФАУ «25 ГосНИИхиммотологии Минобороны России», Москва, e-mail: 25gosniihim@mil.ru

Разработаны новые методы для определения концентрации загущающей присадки «Максойл ВЗ-011» (действующее вещество — полиалкилметакрилат, далее присадки) в гидравлических маслах с использованием ИК-спектроскопии (диапазон определяемой концентрации от 10,0 до 15,0% мас.) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (диапазон определяемой концентрации от 5,0 до 20,0% мас.). Для определения методом ИК-спектроскопии, регистрируют ИК-спектр пробы гидравлического масла, содержащего присадку, в диапазоне от 400 до 4000 см¹ и измеряют площадь пика в диапазоне волновых чисел 1732—1652 см¹, массовую долю (%) определяют по калибровочной зависимости. Для определения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии используют две последовательно соединенные колонки MesoPore (Agilent Technologies США, Length/I/D 300 x 7,5 mm), элюент — тетратидрофуран, определяют площадь пика на 7,187 минуте. Показано, что параллельное использование методов ИК-спектроскопии и ВЭЖХ позволяет не только проводить более достоверное определение концентрации присадки, но и устанавливать идентичность действующего вещества (ИК-спектроскопия) а также молекулярно-массовое распределение полиал-килиметакрилата (ВЭЖХ).

Ключевые слова: гидравлические масла, загущающая присадка «максойл B3-011», полиалкилметакрилат, ИК-спектроскопия, высокоэффективная жидкостная хроматография, гель-проникающая хроматография

DETERMINATION OF THICKENING ADDITIVE «MAXOIL V3-011» IN HYDRAULIC OILS BY IR SPECTROSCOPY AND HPLC METHODS

Krasnaya L.V., Chernysheva A.V., Gavrilov P.A., Zueva V.D., Balak G.M., Kuznetsova O.Yu., Privalenko A.N.

FAI «25 State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of Russia», Moscow, e-mail: 25gosniihim@mil.ru

The new m ethods of the determination of the thickening additive Maxoil V3-011 (active substance – polyalkyl methacrylate, further in the text – additive) concentration in hydraulic oils using IR spectroscopy (in concentration range from 9.0 to 15.0% by weight) and high-performance liquid chromatography (HPLC) as gel permeation chromatography (in concentration range from 1.0 to 20.0% by weight) have been developed. For the determination by IR spectroscopy IR spectrum of a hydraulic oil containing the additive has been recorded in the range from 400 to 4000 cm², and the intensity of the absorbtion band with maximum at 1731 cm² has been measured. The additive concentration has been determined from the calibration dependency. For the determination by HPLC the two columns MesoPore (Agilent Technologies CIIIA, Length/I/D 300 x 7,5mm) connected in series have been used, eluent – tetrahydrofuran, the area of chromatographic peak with maximum at 7.187 min has been determined. Simultaneous use of IR- and HPLC-methods allows identification of the hydraulic oil composition including the additive detection, its concentration and molecular mass determination, to be performed. The compliance of the composition of the hydraulic oil being studied, including that for the additive, with the ones indicated in technical documentation may be confirmed.

Keywords: hydraulic oils, thickening additive «Maksoil V3-011», polyalkylmethacrylate, infrared spectroscopy, high performance liquid chromatography, gel permeation chromatography

В современной авиационной технике наряду с топливами и смазками находят широкое применение гидравлические масла. Одновременно с ростом потребности в гидравлических маслах повышаются требования к их качеству, наиболее важными из которых являются температурные и вязкостные характеристики. Если температурные характеристики масел обусловлены природой базового масла, вязкостные свойства корректируются добавлением загущающих присадок [1]. В составе товарных гидравлических масел в качестве загущающих присадок используют полиалкилмета-

крилаты (ПАМА), растворенные в нефтяных базовых маслах.

Существующий порядок оценки соответствия продукции (топлив, масел, смазок, специальных жидкостей, консервационных материалов и присадок) требованиям нормативной документации предусматривает проведение комплекса мероприятий по идентификации для установления тождественности продукции ее наименованию и другим характерным признакам [2]. Составной частью таких мероприятий является контроль над неизменностью компонентного состава продукции в течение всего

периода ее производства и хранения. Применительно к гидравлическим маслам одним из способов такого контроля является проведение определения наличия и концентрации в нём присадок.

Целью данной работы являлась разработка методов идентификации (компонентного соответствия), а также количественного определения присадки «Максойл ВЗ-011» в составе гидравлического масла.

Материалы и методы исследования

Метод ИК-спектроскопии

Исследование проводили на ИК-Фурьеспектрометре «Nicolet-670» (фирмы «Thermo Electron Corporation», США) в диапазоне волновых чисел 4000–400 см⁻¹, разрешающей способностью 1 см⁻¹. Сканирование ИК-спектров проб осуществляли с использованием абсорбционной кюветы с толщиной поглощающего слоя 0,1 мм с окнами из бромида калия (КВг). Обработку данных проводили в программном обеспечении «TQ Analyst».

Метод ВЭЖХ – $\Gamma\Pi X$

Хроматографирование проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе «Flexar» (PerkinElmer, США), способном прокачивать подвижную фазу через колонку со скоростью 0,5–1,5 мл⋅мин-1 и обеспечивающем (в указанных условиях) точность не менее 0,5%. Способ детектирования - рефрактометрический. Для разделения проб присадок использовали эксклюзионные колонки «MesoPore» (Agilent Technologies, США), Length/I/D 300x7,5 mm, содержащие частицы размером 3 мкм, с внутренним диаметром пор 2-50 нм. В качестве элюента и растворителя использовали тетрагидрофуран с чистотой для хроматографирования (99,5%+). Обработку данных проводили в программном обеспечении Totalchrom. Для калибровки применяли узкодисперсные стандарты полистирола. Перерасчет значений молекулярной массы (ММ) стандартов полистирола к сополимерам ПАМА проводили по коэффициентам для полиоктил(мет) акрилата [3] по стандартным формулам [4].

Параметры метода: Скорость потока растворителя — 0,8 мл/мин изократический режим, объём пробы — 10 мкл с предварительным десятикратным разбавлением ТГФ, температура печи и рефрактометрического детектора — 35 °C.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным компонентом присадки «Максойл ВЗ-011» является полиалкилметакрилат (рис. 1) — продукт полимеризации алкилметакрилатов, которые в свою очередь получают этерификацией метакриловой кислоты спиртами [5].

Согласно техническим требованиям, условная молекулярная масса полиалкилметакрилата в присадке должна находится в диапазоне от 5000 до 12000 а.е.м. и иметь линейные алкильные заместители в сложноэфирных группах состава C12-C18.

$$\begin{array}{c|c} O & O \\ \hline H_2 & C \\ \hline C & n" \\ \hline CH_3 \end{array}$$

Рис. 1. Мономерное звено полиалкилметакрилатной присадки «Максойл В3-011»

Концентрация присадки в гидравлических маслах составляет 12–15% мас., при этом концентрация основного компонента (полиалкилметакрилата) в присадке составляет 55%.

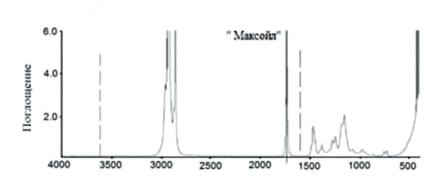
Для исследования состава, идентификации и определения концентрации соединений полимерной природы в настоящее время находят широкое применение методы ИК-спектроскопии и ВЭЖХ – ГПХ. В настоящей работе разработаны методы, позволяющие проводить количественные определения присадки «Максойл ВЗ-011» в матрице гидравлического масла без дополнительной трудоемкой пробоподготовки с высокой точностью.

ИК-спектроскопия

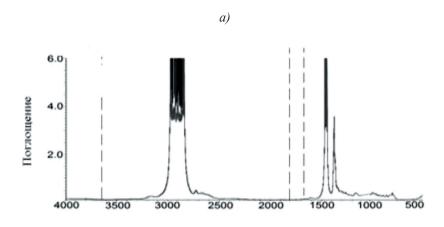
Как видно из рис. 1, в структурной формуле полиалкилметакрилата присутствует сложноэфирный фрагмент, при этом валентные колебания С=О являются характеристичными и находятся в области 1724—1737 см-1 [6]. На рис. 2, а-в, приведены следующие ИК-спектры: присадки «Максойл-В3-001» (рис. 2, а), основы гидравлического масла (рис. 2, б) и базового масла, содержащего 15% присадки «Максойл В3-011» (рис 2, в). Как видно из рис. 2, а, на ИК-спектре присадки присутствует характеристический пик в области валентных колебаний (С=О) эфирной группы при 1731 см⁻¹. При этом характеристичные колебания C=O в сложноэфирной группе не перекрываются с другими колебаниями как самого полиалкилметакрилата, так и компонентами гидравлического масла (рис. 2, б).

Расчет массовой доли присадки проводили по высоте пика на волновом числе 1731 см⁻¹ с базовой линией, построенной параллельно оси абсцисс из точки на спектре, соответствующей волновому числу 1653 см⁻¹. ИК-спектров присадки «Максойл В3-011» с концентрациями 9, 12 и 15% мас.

Для проведения количественного определения присадки «Максойл ВЗ-011» в гидравлическом масле были приготовлены градуировочные растворы с концентрациями 10, 12,14 и 15% мас. присадки в основе масла АМГ-10.



ИК-спектр привадки "Максойл"



ИК-спектр основы гидравлического масла

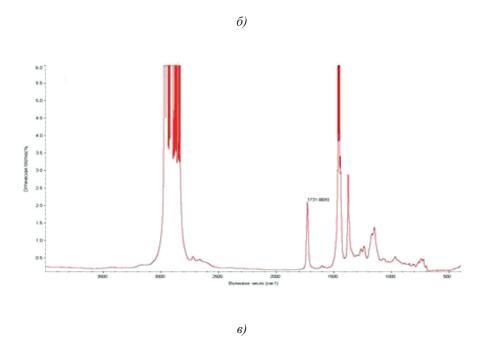


Рис. 2. а) ИК-спектр присадки «Максойл-ВЗ-001», б) ИК-спектр основы гидравлического масла, в) ИК-спектр базового масла, содержащего 15% присадки «Максойл ВЗ-011»

Параметры		Содержание присадки, % мас.			
		10	12	14	15
Номер образца	1	9,876	12,119	14,244	15,045
	2	9,801	12,112	14,226	15,385
	3	9,85	12,123	14,208	15,392
	4	9,788	12,009	14,301	15,402
	5	9,838	12,042	14,052	15,386
	6	9,838	12,061	14,259	15,43
	7	9,82	11,923	14,081	15,526
	8	9,783	12,065	14,176	15,301

9

10

11

12

13

14

9,815

9,88

9,8289

0,0338

2,262

0,1

12,068

12,063

12,059

0,0596

2,262

0.2

14,162

14,331

14,204

0,0891

2,262

0,3

15,257

15,373

15,35

0,1287

2,262

0.4

Сходимость результатов определения содержания присадки «Максойл ВЗ-011» в масле АМГ-10

В таблице приведены данные метрологической экспертизы четырех растворов присадки марки «Максойл ВЗ-011» в основе гидравлического масла АМГ-10 с содержанием 10, 12, 14 и 15% мас. Было выполнено 10 параллельных определений (строки 1–10 в таблице) и рассчитаны среднее квадратичное отклонение и сходимость (абсолютное значение) результатов.

Среднее значение, х_{сп}, %

Среднее квадратичное, S Коэффициент Стьюдента

Сходимость, %

Таким образом, на основе данных ИКспектроскопии возможно установление идентичности присадки «Максойл ВЗ-011», присутствующей в гидравлических маслах, по характеристичной полосе поглощения (1730 см⁻¹), а также определение ее содержания в диапазоне концентраций нормируемых техническими условиями производителя.

ВЭЖХ

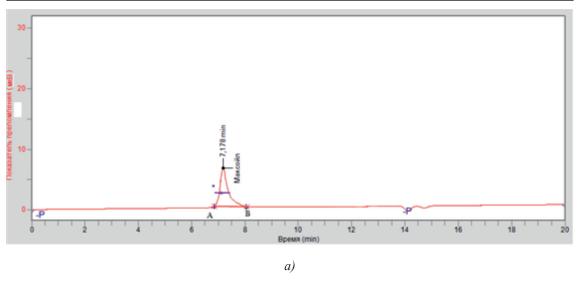
Высокоэффективная жидкостная хроматография в варианте гель-проникающей хроматографии (ВЭЖХ – ГПХ) находит широкое применение для определения молекулярно-массового распределения (ММР) полимеров, установления содержания примесей и исходных низкомолекулярных соединений в полимерной матрице [7]. Разделение молекулы пробы происходит по их гидродинамическому объёму или по эффективной величине молекулы в растворе, при этом возможно разделение смеси компонентов, отличие молекулярных масс которых составляет 10%.

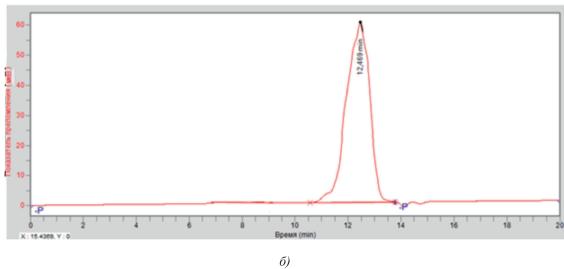
В работах [8, 9] авторы определяли ММР чистого полиалкилметакрилата с использованием ВЭЖХ на установке с на-

бором из 5 стирогелевых колонок с диаметром пор 10^5 , 3×10^4 , 10^4 , 10^3 и 250 Å. Поскольку присадка «Максойл В3-011» представляет собой полимер с молекулярной массой значительно большей, чем у основы масла и других компонентов товарного продукта, для отделения полиалкилметакрилата от остальных компонентов масла в нашей работе был использован комплекс из двух колонок и предколонки, с частицами размером 3 мкм и внутренним диаметр пор 2-50 нм, обеспечивающим разделение согласно данным производителя в диапазоне от 900 до 25000 Да. На рис. 3, а-в, приведены полученные хроматограммы основы гидравлического масла, присадки «Максойл-В3-011» и гидравлического масла, содержащего присадку «Максойл-В3-011».

Как видно из рис. 3, а-в, подобранные условия обеспечивают оптимальные условия отделения полиалкилметакрилата в присадке «Максойл-В3-001» от остальных компонентов гидравлического масла, которые выходят в виде уширенного пика и характеризуются максимумом временеми удерживания 12 минут, а время удерживания полиалкилметакрилата составляет 7 минут, при этом ММР полиалкилметакрилата составило порядка 7500 Да.

Метрологическая экспертиза проведена на растворах гидравлического масла АМГ-10 с концентрациями 5, 10, 15 и 20% мас., с тремя параллельными определениями. Средняя квадратичная ошибка в определении площади пика (σ) в параллельных опытах составила \pm 1,5 отн.%.





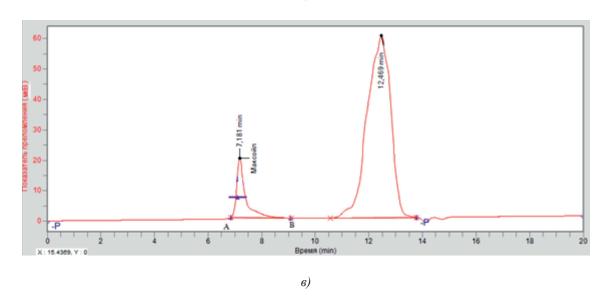


Рис. 3. а) хроматограмма основы масла АМГ-10 (время удерживания), б) хроматограмма присадки Максойл-В3-011 с концентрацией 1% в растворе тетрагидрофурана, в) хроматограмма гидравлического масла АМГ-10, содержащего 16,0% мсс. присадки «Максойл-В3-011»

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности применения ВЭЖХ для идентификации присадки «Максойл ВЗ-011», входящей в состав гидравлических масел и определения средней молекулярной массы ПАМА на соответствие/несоответствие заявленной производителем.

Заключение

Разработанные методы позволяют определять массовую долю и молекулярно-массовое распределение присадки «Максойл ВЗ-01» в гидравлических маслах, в частности масла АМГ-10, без дополнительной пробоподготовки.

Показано, что данные, полученные при одновременном применении методов ИКспектроскопии и ВЭЖХ для исследования полимерных присадок, входящих в состав гидравлических масел, дают более полное представление об идентичности и ММР основного компонента присадки «Максойл ВЗ-001» — полиалкилметакрилата, что в свою очередь позволяет характеризовать соответствие состава масла заявленному производителем.

Список литературы

- 1. Гришин Н.Н. Энциклопедия химмотологии / Н.Н. Гришин, В.В. Середа. М.: Перо, 2016. 285 с.
- 2. ГОСТ Р 51293 99. Идентификация продукции. Общие положения М.: Стандартинформ, 2008.-3 с.
- 3. Brandrup J. Polymer Handbook / J. Brandrup, E.H. Immergut. NY.: John Wiley and Sons, 1975. 2366 p.
- 4. Оудиан Д. Основы химии полимеров / Д. Оудиан. М.: Мир, 1974. 614 с.
- 5. Мойкин А.А., Валешняя Т.А., Миронычева Ю.Л. Акрамакс новая загущающая присадка с депрессорными свойствами для гидравлических масел // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2007. № 6. С. 5–7.
- 6. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы / Б.Н. Тарасевич. М.: Издательство МГУ, 2012.-55 с.
- 7. Бёккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитка: методы хроматографии и капиллярного электрофореза / Ю. Бёккер. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
- 8. Гераськина Е.В., Маткивская Ю.О., Шкирмантова Д.С., О.А. Таранкова А.А. и др. Исследование загущающей способности сополимеров винилизобутилового эфира и алкил(мет) акрилатов высших алифатических спиртов для минеральных и синтетических масел // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 4(1). С. 135—139.
- 9. Семенычева Л.Л., Мойкин А.А., Валетова Н.Б., Гераськина Е.В., Маткивская Ю.О. Особенности молекулярно-массовых параметров сополимеров алкилметакрилатов с винилалкиловыми эфирами, синтезированных компенсационным методом // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2016. №4(8). С. 31–37.

УДК 721.01/.3

ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИЗАЙНА ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК В СОВРЕМЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Месенева Н.В., Милова Н.П.

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток, e-mail: natalya.meseneva@yvvsu.ru

В настоящее время стремительного развития науки и техники становятся актуальными вопросы проектирования дизайна детских игровых площадок в городской среде. В статье рассмотрены факторы, формирующие качественные детские игровые площадки в городской среде, на примере зарубежного и отечественного опыта (Москвы и Владивостока). Предложены рекомендации для создания более благоприятной среды детских площадок. Целью данной работы является выявление современных тенденций формирования комфортной среды детских площадок в городской среде, направленных на улучшение проектирования детских площадок. Рассмотрены основные принципы организации детских игровых площадок. Научная актуальность проблемы состоит в необходимости осмысления процессов обновления городской среды и архитектурно-дизайнерской теории с точки зрения более внимательного отношения к проблемам развития детей в городской среде. В результате выполненных исследований определены основные составляющие дизайна детских площадок в городской среде, новые тенденции проектирования городских детских игровых площадок.

Ключевые слова: архитектура, город, детские площадки, концепция, культура, ландшафт, проектирование, экологичность

TRENDS OF THE DESIGN OF CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN THE MODERN URBAN ENVIRONMENT

Meseneva N.V., Milova N.P.

Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: natalya.meseneva@vvsu.ru

Currently, the rapid development of science and technology are becoming relevant design considerations design playgrounds in the City Wednesday. Currently, the rapid development of science and technology are becoming relevant design considerations design playgrounds in the City Wednesday. The article describes the factors shaping the quality children's playgrounds in the City Wednesday for example foreign and domestic experience (Moscow and Vladivostok). Recommendations for creating a more favourable Wednesday playgrounds. The aim of this work is to identify current trends forming comfortable Wednesday children's playgrounds in the City Wednesday, aimed at improving the design of children's playgrounds. The basic principles of children's playgrounds. The scientific relevance of the problem lies in the need for reflection on urban renewal Wednesday and architectural-design theory in terms of a more attentive attitude to the problems of development of children in the City Wednesday. As a result of the research identified key components design playgrounds in the City Wednesday, the new trend of designing urban playgrounds. As a result of the research identified key components design playgrounds in the City Wednesday, the new trend of designing urban playgrounds.

Keywords: architecture, city, playgrounds, concept, culture, landscape, environmental, friendliness

Сегодня в России является актуальной проблема дизайн-проектирования детских игровых пространств в городской среде. Детские площадки и парки, построенные в советский период, не отвечают современным критериям городской среды. В статье рассматриваются проблемы проектирования современных детских площадок и парков в городской среде. Рассматриваются главные понятия и требования к созданию, формированию развивающей пространственной игровой среды для детей. Анализируются методы решения существующих проблем проектирования парков и площадок для детей на примере отечественного и зарубежного опыта.

Йель данной работы — систематизировать, обобщить современный прогрессивный опыт проектирования детских площадок в городской среде. Задачи исследования ставят вопросы планировочной организа-

ции, функционального зонирования игровой среды, проектирования ландшафта, малых архитектурных форм, оборудования, использования цвета и освещения, озеленения и цветочного оформления в решении архитектуры и ландшафта площадок в городской среде.

Предмет исследования – предметнопространственная среда детских игровых площадок в городской среде и процесс их проектирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Целью дизайна как феномена современной культуры является содействие повышению качества жизни людей и совершенствование социально-культурных отношений между ними путем формирования гармоничной среды во всех сферах жизнедеятельности людей для удовлетворения всего

многообразия их материальных и духовных потребностей [1, с. 37]. Для полноценного развития детей необходимо проектировать качественную, развивающую предметнопространственную среду, включающую самые разные виды деятельности: игровую, учебную, познавательную, художественную, творческую. Необходимым условием формирования детского развития является наличие именно открытого городского пространства, включающего природные составляющие и солнечный свет. Перед дизайнерами стоит задача создавать концептуальные, образные, яркие, цветовые и световые решения проектов детских площадок. Правильно организованная детская площадка формирует у детей мотивацию к самостоятельной физической активности, личностному развитию, овладению важными навыками, развивает их поведенческую культуру [2, с. 7]. Рассмотрим основные параметры и характеристики детских проектирования современных площадок в городской среде и составим модель детской площадки, включающую следующие характеристики.

Функциональность. Площадки и парки для детей являются частью городского пространства и создаются системой объемно-пространственных структур, их функциональными взаимосвязями, построенными по законам художественного единства. Дизайнеру необходимо выполнять предметно-пространственную среду, создавая художественно-функциональный комфорт, обеспечивающий лучшее состояние ребенка в процессе его самых различных игр, также следует предусмотреть площадку «интеллектуального центра» и пересмотреть нормы по площадкам, которые не учитывают обслуживание детей-инвалидов.

Предметно-пространственную среду детской площадки следует проектировать дружелюбной, развивающей, информационной, формирующей самостоятельную физическую активность, помогающей преодолевать личные страхи в безопасной среде. Детскую игровую площадку следует формировать универсальной для различного количества детей разных возрастов и детей с ограниченными возможностями.

Детская площадка должна быть технологична, соответствовать современному прогрессивному уровню техники и технологий, включая создание рельефа площадки средствами геопластики. В проекте следует использовать современные высокотехнологичные как искусственные, так и натуральные материалы.

Детская площадка должна быть вписана в средовое пространство, адаптирова-

на к особенностям площадки, что создает предметно-пространственной среды, гармоничное ощущение связи с окружающей средой. Экономично учитывать выполнение площадки среди имеющихся натуральных холмов, использовать природные материалы – камень, песок, дерево, натуральный газон. Применение природных материалов в городских условиях олицетворяет природу, создает комфортную среду, близкую человеку психологически [3, с. 7]. Игровая площадка или парк, художественно вписанный в городскую среду, украсят город. В ландшафтную организацию как современных, так и старых кварталов должны быть интегрированы спортивные площадки и рекреационно-оздоровительные зоны игрового и развивающего характера, рассчитанные на разные возрастные группы и семейный отдых, велосипедные трассы [4, с. 298]. Ландшафтный дизайн направлен на проектирование атмосферы, способствующей развитию детей, воспитанию различных форм игровой деятельности, созданию пространства, способствующего развитию свободной игры детей. Ландшафтный дизайн площадки включает зеленые насаждения, которые организуют объемные, цветные композиции из деревьев и кустарников, меняющиеся по временам года, препятствующие проникновению пыли с улицы, создающие естественную тень.

Экологичность – важная составляющая проекта. Актуальна задача экологической реновации сложившихся городов, которая предусматривает создание в городах благоприятной для жизни людей среды обитания (обеспечивающей здоровые и безопасные условия проживания, гармонично сочетающей созданную человеком социальную и инженерную инфраструктуру и сохраненную природу) [5, с. 3]. В проектах площадок рекомендуется использовать сибирскую лиственницу, березовую фанеру, натуральный камень, дерево, оцинкованный и нержавеющий металл. Лучшим покрытием для площадки будет газон, который отличается экологичностью и декоративностью, можно использовать резиновую плитку, синтетическую траву и песок.

Детские парки и площадки должны отвечать нормам эргономики. Задачи эргономики детских площадок и парков — это сохранение здоровья и развитие личности детей. При выполнении проекта необходимо учитывать эргономические характеристики: антропометрические данные, возраст, физиологические факторы, факторы окружающей среды. Детская площадка должна быть безопасной, но не

должна ограничивать активность детей. На площадке дети реализуют себя как исследователи, общаются друг с другом, с природой, учатся рисковать, проявлять соревновательный дух.

При выполнении проекта детской площадки не следует перенасыщать её информацией. Избыточное предметное наполнение среды усложняет для детей познание мира, которое может стать односторонним. Планировочное решение площадки не должно допускать пересечение разных видов деятельности ребенка, должно быть многофункциональным пространством, в котором ясно определены границы каждой зоны и соблюдается принцип гибкого зонирования. В качестве средств зонирования можно использовать малые архитектурные формы, освещение, цветовое решение.

Проекты детских площадок должны формировать целостность общего решения, композиционное и художественное единство, взаимосвязь с окружающей средой, создавать ощущение гармонии, законченности, создавать благоприятную для детей атмосферу, развивать различные формы игровой деятельности, создавать пространства, способствующие воспитанию и развитию свободной игры.

Образность - главная характеристика современных детских площадок. Необходимо формировать концептуальный образ детских игровых пространств, развивающих у детей такие качества характера, как воображение, фантазия, дружелюбие, смелость, отвага, сочувствие. Детские игровые пространства должны иметь оригинальные проектные решения, нестандартные архитектурные формы; интересный, яркий, неповторимый образ и стиль. При выполнении дизайн-проекта детской площадки в разрабатываемой концепции рассматриваются проблемы выбора площадки и её зонирование, гармонизация стиля и малых архитектурных форм с окружающей архитектурной средой, выбор малых архитектурных форм и оборудования интеллектуальной направленности.

Рассмотрим современные детские площадки в городской среде, существующие за рубежом. Зарубежный опыт по проектированию детских игровых площадок и парков в городской среде учитывает необходимость и важность комплексного подхода, предварительной исследовательской работы, предшествующей выполнению проекта.

Игровая площадка является частью физического, социального, образовательного, духовного развития ребенка, это место, где дети получают и улучшают свои навыки общения. Существуют интересные, фан-

тастические структуры детских площадок, которые развивают, формируют, воспитывают детское воображение. В игре ребенок взаимодействует с неизвестностью – с неизвестными людьми, ландшафтами, средами, становится социальной личностью. Игра на площадке – это вызов и проверка себя. Можно сказать, что игровая площадка – это место рождения личности. В Европе считают, что игровая площадка должна быть отражением окружающего нас мира и что природная среда – самая лучшая обстановка для игры детей.

Разнообразие окружающего ландшафта делает игру более интересной, позволяет детям расширять границы своих возможностей, стать более ловкими. Дизайн игровых площадок направлен на поощрение творческих игр в среде, связанной с природными системами, изменяющимися в зависимости от сезона. Художественное моделирование рельефа игровых парков и площадок позволяет проектировать игровые ландшафты, интегрированные в окружающую среду. Создание игровых ландшафтов, моделирование рельефа выполняется средствами геопластики с использованием искусственных резиновых покрытий, натурального газона и других материалов. Использование цвета и освещение гармонизирует предметно-пространственную среду игровых пространств. Нестандартные игровые элементы развивают воображение, исследовательскую и физическую активность детей. Новым в настоящее время является осознание важности концепции сохранения культурных ландшафтов, ориентированной на то, чтобы оградить ценности, связанные с природными элементами. Genius loci охватывает важнейшие компоненты, постоянно находящиеся в центре внимания людей, такие как чувство места и чувство соборности или сплоченности общества, самобытности культуры и культурное разнообразие [6, с. 240]. Следует отметить, что сегодня в Европе ценят традиции, берегут природу и считают, что игровая площадка особенно хороша, если на ней играют несколько поколений.

Представляем необычные, запоминающиеся игровые площадки и тематические парки, которые уже есть в Европе. Площадка «Лесные открытия» (рис. 1), концепция площадки — «лесной парк». Это детская площадка будущего, которую Shelby Farms Park Conservancy построили в Мемфисе, представляет настоящий лесной парк, разделенный на особые игровые секции, где дети могут искать новые возможности для того, чтобы скатиться с горки, залезть на скалу, покачаться на качелях и т.д. [7].



Рис. 1. Площадка «Лесные открытия» в Мемфисе



на одной из детских площадок Копенгагена



Рис. 3. Фруктово-ягодная детская площадка Стокгольм, Швеция



Рис. 4. Площадка озера Маккуори, Австралия

Игровая площадка Брумлебю В (Brumleby) Копенгаген, Дания (рис. 2). Брумлебю состоит из нескольких маленьких домов рядовой застройки 19-го века. Эта игровая площадка позволяет взглянуть на прошлое сегодняшним взглядом. Каждый домик для игры запроектирован в стиле домов в округе, а идея была взята у датского архитектора Микаэля Готтлиба Биркнера Биндесбёлля, который в свою очередь был вдохновлен итальянскими фермерскими домами. Домики искривлены, как будто с помощью детского воображения [8].

В южной части Стокгольма находится необычная детская площадка - фруктовоягодная (рис. 3). Горка-банан, качели-вишня, дыня, апельсин и арбуз, клубники-считалки и другие необычные сооружения являются частью парка. Площадка выполняет рекреационную и социальную функцию, акцентируя внимание детей на фруктах и ягодах как полезной и здоровой пище. Площадка озера Маккуори (рис. 4). Эта австралийская площадка предназначена для детей с ограниченными возможностями, в том числе для детей с ослабленным зрением и прикованных к коляскам детей. На ней находятся 12-метровая башня для скалолазания, 9-метровая спиральная горка для катания, качели для инвалидных кресел, музыкальные автоматы и многое другое [7].

Нашей стране необходимы креативные. концептуальные проекты детских игровых площадок и парков. В условиях крупных городов разработаны целевые программы, предпринимаются практические шаги по проектированию детских тематических площадок и парков. Уже выполняются качественные креативные дизайнерские проразрабатываются художественно обоснованные концепции. Ставится задача разработки концепции системного подхода при проектировании территорий детских игровых площадок, которая учитывала бы повышение их комфортности, интеллектуальной направленности, оздоравливающих возможностей. В Москве таких площадок построено много. Знаменитая датская фирма Monstrum реализовала свой проект в Москве (рис. 5). Площадка выполнена из дерева и просто великолепна: огромный красный осьминог, накренившийся «Титаник», маяк, крутые горки, веревочные лестницы, скалолазные стенки, качели-тарелки, деревянные скамейки-волны и прочее. Мягкое покрытие площадки удобно

и безопасно. На территории Новой Москвы есть прекрасная детская площадка (рис. 6), сделанная по мотивам знаменитой игры Angry Birds, просторная, безопасная, оборудованная разнообразными лазилками, горками и необычными качелями, и повсюду любимые «сердитые птички». Покрытие площадки яркое, резиновое, по периметру стоят скамейки для родителей.

Во Владивостоке на территории Приморского океанариума выполнена детская площадка, концепция которой — «Морские обитатели» (рис. 7). А студенты ВГУЭС участвовали в краевой программе — конкурсе «Наш двор» (рис. 8).

Заключение

Проанализировав, как проектируется детская игровая среда в зарубежной практике, можно сделать вывод, что в нашем городе, как и в других, даже крупных, городах нашей страны, в довольно запущенном состоянии находятся детские игровые комплексы. Дети недополучают полноценного развития в современной игровой деятельности. Не учитывается необходимость создания возможностей для свободной ор-

ганизации детских игр и развития детской фантазии. Сегодня при выполнении дизайнпроекта детской игровой среды необходимо разрабатывать креативные, творческие подходы к формированию и благоустройству игровых площадок. Новые подходы к проектированию детской игровой среды ориентированы на развивающую, комфортную, гармоничную и целостную среду с учетом потребностей и в соответствии со спецификой возраста детей, охраны и укрепления здоровья детей. Дизайнпроекты формируют среду, где дети будут получать достаточное развитие, проводя время на современных, креативных, интересных игровых площадках и, возможно, вместе с родителями.

Дизайн детских игровых площадок должен формировать атмосферу, направленную на развитие детей, создание различных форм игровой деятельности, организацию предметно-пространственной среды, способствующей развитию свободной игры. Детские игровые площадки — это место, где дети могут быть самостоятельными и выполнять свои замыслы. Можно сказать, что игровая площадка — это место рождения личности.



Рис. 5. Детская площадка Monstrum в Парке Горького, Москва

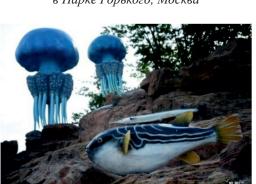


Рис. 7. Океанариум, Владивосток



Puc. 6. Детская площадка Angry Birds в Аутлете Внуково, Москва



Рис. 8. Работа студентки ВГУЭС «Мышиный двор», Владивосток

Это место, где можно компенсировать существующую ограниченность двигательных возможностей в школе, дома, на улице. Для детей необходима игровая деятельность и ее нужно формировать в дизайн-проекте. Игровая площадка должна быть территорией, где проектируется привлекательная для детей среда, на которую ребенок имеет личные права и где он действует самостоятельно.

Сегодня игровая предметно-пространственная среда для детей — это особенная, сложноорганизованная среда. Задача дизайнера — создать концептуальное, многофункциональное игровое пространство для детей с использованием современных технологий, материалов, оборудования, малых архитектурных форм, с учетом действующих норм и правил. Нашей стране необходимы такие современные игровые площадки для детей.

Список литературы

- 1. Медведев В.Ю. Сущность дизайна: теоретические основы дизайна: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: СПГУТД, 2009. 110 с.
- 2. Грашин А.А. Дизайн детской предметно-развивающей среды: учебное пособие / А.А. Грашин. М.: Архитектура-С, 2008. 296 с.
- 3. Rottle Nancy, Yocom Ken. Basics Landscape Architecture 02: Ecological Design. AVA Publishing (UK) Ltd. – 2011. – 178 p.
- 4. Нефёдов В.А. Городской ландшафтный дизайн: учебное пособие / В.А. Нефёдов. СПб.: Любавич, 2012. 320 с.
- 5. Потаев Г.А. Архитектурно-ландшафтный дизайн: теория и практика: учебное пособие / под общ. ред. Г.А. Потаева. М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2013.
- 6. Смолицкая Т.А. Городской культурный ландшафт: традиции и современные тенденции развития / Т.А. Смолицкая, Т.О. Король, Е.И. Голубева; под ред. Т.А. Смолицкой. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 272 с.
- 7. 16 невероятно «крутых» детских игровых площадок, на которых захочется порезвиться даже взрослым [Электронный ресурс]. URL: http://www.novate.ru/blogs/231215/34287.
- 8. Филипенко Д.С. 10 самых красивых игровых площадок [Электронный ресурс]. URL: https://www.infoniac.ru/news/10-samyh-krasivyh-igrovyh-ploshadok.html.

УДК 691.3/.5(571.56)

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЯКУТИИ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Местников А.Е., Семенов С.С., Васильева Д.В.

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: mestnikovae@mail.ru

В настоящей статье рассматриваются пути рационального использования природного минерального сырья Якутии в технологии строительных материалов на основе инновационных подходов. Обоснована возможность расширения номенклатуры вяжущих веществ разработкой и освоением технологии производства специальных видов цемента, композиционных гипсовых вяжущих и эффективных строительных материалов на их основе. Отмечена целесообразность продвижения инновационных проектов СВФУ (кирпичный завод, производство автоклавного пенобетона и гранулированного пеностекла – пеноцеолита). Для труднодоступных районов Севера особую актуальность имеет создание быстроразворачиваемых производств тяжелого и легкого бетонов, стеновых изделий на основе ячеистого бетона, арболита и грунтобетона с использованием предлагаемых композиционных вяжущих на основе портландцемента, гипса, извести и активных минеральных добавок из кварцполевошпатового песка, горелых и цеолитсодержащих пород.

Ключевые слова: природное минеральное сырье, композиционные вяжущие вещества, строительные материалы, традиции и инновации

RATIONAL USE OF YAKUTIA'S MINERAL RESOURCES IN CONSTRUCTION MATERIALS TECHNOLOGY

Mestnikov A.E., Semenov S.S., Vasileva D.V.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov», Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru

This article discusses the possible rational uses of natural mineral raw materials of Yakutia in construction materials technology based on innovative approaches. We substantiate the possibility of expanding the application range of binding substances through development and adoption of special types of cement production technology, composite gypsum binders and efficient building materials on their basis. The practicability of NEFU's innovative projects promotion (brick factory, production of autoclaved foam concrete and foam glass granulate-foam zeolite). For hard to reach areas of the North, creation of rapidly deployable production of heavy and light concrete, wall products on the basis of aerated concrete, cement wood and soil-cement using the proposed composite binders based on portland cement, gypsum, lime and active mineral additives from quartz-feldspar sand, burnt and zeolite rocks is of particular importance.

Keywords: natural mineral raw materials, composite binding substances, construction materials, traditions and innovations

Разработка эффективных строительных материалов с использованием местной минерально-сырьевой базы регионов является одним из основных направлений инновационного развития Российской Федерации.

Известно, что территория Якутии богата минеральным сырьем для производства строительных материалов, что в настоящее время в полной мере не используется [1, 2]. С наступлением рыночных отношений в республике были закрыты многие энергоемкие производства эффективных строительных материалов, использующие природное минеральное сырье: кирпичные и керамзитовые заводы. Поэтому строительство полностью перешло на использование тяжелого бетона и привозных теплоизоляционных материалов и комплектующих, что сильно повлияло на повышение себестоимости строительства в целом. Возрождение традиционных технологий и производств на основе новых инновационных подходов, позволяющих производить высококачественные

стеновые и теплоизоляционные материалы из доступного минерального сырья и техногенных отходов, могло бы стать бы основой для строительства в первую очередь энергоэффективного доступного жилья.

В настоящей статье обобщены результаты исследований, выполненных в последние годы коллективом кафедры строительных материалов СВФУ, по изучению возможности рационального использования минерального сырья Республики Саха (Якутия) — известняков, гипсового камня, глинистого сырья, кварцполевошпатового песка, цеолитсодержащих пород при совершенствовании традиционных технологий производства строительных материалов.

Известняки и суглинки

Для производства основной номенклатуры строительных материалов невозможно обойтись без минеральных вяжущих веществ – цемента, гипса и извести. Основными традиционными видами природного

сырья для производства цемента являются известняк, гипсовый камень и глина.

АО ПО «Якутцемент» — флагман строительной индустрии республики является единственным производителем основного вяжущего вещества — портландцемента для изготовления бетонных изделий и конструкций. В производстве местного портландцемента используются известняки и суглинки Сасаабытского месторождения, расположенного на территории Хангаласского района недалеко от поселка Мохсоголлох.

Балансовые запасы суглинков, тенные Государственным балансом РФ, составляют 10942 тыс. т, известняков – 71320 тыс. т. У действующего «Якутцемент» имеются все возможности для выпуска строительной извести. Ранее проведенными исследованиями было установлено, что испытанная известь удовлетворяет требованиям ГОСТ 9179 «Известь строительная» [2]. Следует подчеркнуть, что производство строительной извести позволило бы организовать малоэнергоемкие производства силикатного кирпича и эффективных стеновых изделий из газо-, пеносиликата, а также сухих строительных смесей для кладки и оштукатуривания стен, бетонных растворов для заполнения скважин свайных фундаментов в условиях вечномерзлых грунтов.

Одним из существенных недостатков портландцемента является потеря его активности при длительном хранении. Потеря активности цемента происходит в процессе его длительной доставки в отдаленные районы посредством водного и автомобильного транспорта, а чаще всего из-за значительной продолжительности зимнего периода до начала строительного сезона (9 и более месяцев). В таких условиях высококачественный композиционный портландцемент целесообразно получать совместным помолом заранее доставленного клинкера, срок хранения которого практически не ограничен, с активными минеральными добавками до

40% по массе вяжущего из местного сырья. Производство композиционного цемента на месте строительства позволит значительно снизить себестоимость строительства за счет значительного сокращения энергоемкости производства и транспортных расходов [3–5].

Исследования, проведенные специалистами СВФУ [6], показали соответствие прочностных характеристик образцов на основе композиционного портландцемента (клинкер + активная минеральная добавка + гипсовый камень) прочностным показателям контрольных образцов, изготовленных на портландцементе марки ЦЕМ І 42,5Б АО ПО «Якутцемент» (таблица).

Горелые породы

Исследована возможность использования горелых пород в создании сульфатостойких бетонов [6, 7, с. 268]. Карьер горелых пород Кильдямского месторождения расположен в 30...32 км к северо-западу от города Якутска. Его запасы по категории A_2 составляют 87,7 тысячи M_3 , по категории $C_1-2,3$ тысячи M_3 [2].

Химико-минералогический состав горелых пород Кильдямского месторождения содержит, % мас.: $SiO_2 - 81,00$; $Al_2O_3 - 9,61$; $K_2O_3 - 3,37$; $Fe_2O_3 - 3,26$; $Na_2O_3 - 1,27$; $CaO_3 - 0,54$.

Для приготовления сульфатостойкого цемента портландцементный клинкер, сульфат кальция (природный или промышленный гипс) и добавку алюмосиликатной горелой породы совместно измельчали до удельной поверхности 280–320 м²/кг [8, с. 276]. Полученные образцы цементного камня подвергали к длительному воздействию сульфатов. Полученные экспериментальные зависимости показали, что предел прочности при сжатии образцов в стандартном возрасте при содержании добавки в количестве 15% имеет максимальную прочность 29 МПа, в возрасте 56 суток прочность возрастает до 35 МПа.

Прочностные характеристики образцов из композиционного портландцемента на основе клинкера и активных минеральных добавок, МПа

Состав тонкомолотого вяжущего	Количество добавки, % от массы вяжущего				
	5	7	10		
28 суток естественного твердения					
Клинкер + кварцполевошпатовый песок + гипсовый камень	48,89	50,09	52,38		
Клинкер + цеолитсодержащая порода + гипсовый камень	46,47	47,76	47,18		
Тепло-влажностная обработка					
Клинкер + кварцполевошпатовый песок + гипсовый камень	47,19	49,09	50,76		
Клинкер + цеолитсодержащая порода + гипсовый камень	45,48	46,29	46,09		

Таким образом, разработанная добавка улучшает свойства бетонов при экономии портландцемента в бетоне не менее 15% мас., а также вовлекается неиспользуемое минеральное сырье – горелые породы.

Целесообразность производства специальных видов цементов на месте применения подчеркивает тот факт, что АК «АЛРОСА» в г. Мирный в собственном помольном цехе производит сульфатостойкий цемент для закладочных растворов на основе привозного портландцементного клинкера Якутцемента, цеолитсодержащей породы Сунтарского месторождения и местного минерального сырья. Научная основа получения сульфатостойкого портландцемента разработана в ведущих институтах республики — ЯкутНИИПроалмаз [5] и ЯкутПНИИС [9].

Гипсовый камень

Минерально-сырьевая база для производства гипса представлена двумя месторождениями в Олекминском улусе с запасами по категориям $A + B + C_1$ в размере 11 251 тыс. т. В промышленном освоении находится месторождение «Олёкминское» с балансовыми запасами гипса 9009 тыс. т. Ежегодная добыча составляет около 20 тыс. т. [1]. Олекминский гипсовый завод в настоящее время не работает. Гипсовый камень добывается в малых объемах для применения в сельском хозяйстве и производстве портландцемента с доставкой водным транспортом до пос. Мохсоголлох. Поэтому предприятие «Якутцемент» имеет все возможности для освоения производства композиционного гипсового вяжущего (КГВ).

В отличие от обычных гипсовых материалов на основе КГВ появляется возможность изготовления эффективных стеновых изделий и панелей повышенной водо- и морозостойкости для малоэтажного строительства в условиях сурового климата Севера.

На кафедре строительных материалов СВФУ разработаны два вида КГВ: гипсоцементно-цеолитовое (ГЦЦВ) и гипсоизвестково-цеолитовое (ГИЦВ) вяжущее повышенной водостойкости (таблица), что может быть научной основой для расширения номенклатуры продукции АО ПО «Якутцемент» [10, 11].

На основе разработанных составов КГВ возможно изготовление конструкционнотеплоизоляционного арболита плотностью 700–800 кг/м³ и прочностью на сжатие 2,5–3,5 МПа [8, с. 175]. В производстве легких бетонов на основе КГВ для сельского строительства могут быть привлечены дополни-

тельные природные сырьевые ресурсы, как солома и мох, так и отходы переработки древесины — щепа, кора и опилки. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования стеновых изделий на основе композиционных гипсовых вяжущих в малоэтажном строительстве.

Глинистое сырье

В советское время было подготовлено к промышленному освоению 27 месторождений кирпичного сырья, суммарные балансы которых по категориям $A+B+C_1$ составляют 49648 тыс. m^3 , 19 месторождений керамзитового сырья с суммарными запасами по категориям $A+B+C_1$ в количестве 30289 тыс. m^3 , одно (Кангаласское) месторождение тугоплавких глин с запасами по категориям A+B 81 тыс. m^3 [1]. Однако производства кирпича и керамзита давно закрылись, хотя потребность в таких эффективных материалах существует и растет с каждым днем в связи с постоянным повышением объемов жилищного строительства.

СВФУ принял на себя ответственность инициатора и координатора проекта создания кирпичного завода при поддержке Президента и Правительства PC(S).

На сегодня университет выполняет научно-техническое сопровождение предпроектной подготовки документов, получены предварительные результаты по оптимизации составов, структуры и свойств керамического кирпича с повышенными строительно-эксплуатационными характеристиками на основе глинистого сырья Санниковского месторождения с применением тонкомолотого цеолита и пластифицирующих добавок [8, с. 211]. Результаты НИР должны обеспечивать показатели, отвечающие требованиям ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камни керамические. Технические условия», вступившего в силу с 01.03.2008 в РФ и приближенного к европейским стандартам. В новых требованиях исключены марки кирпича по прочности M75 и морозостойкости F15, для лицевого кирпича нижним пределом является марка М150.

В сельской местности небольшие объемы глинистого сырья могут быть привлечены для производства грунтобетона и стеновых изделий на его основе для индивидуального малоэтажного строительства.

Кварцполевошпатовые (речные) пески

Насчитывается 24 месторождения речных песков строительного назначения с неограниченными запасами, из них 9 месторождений в распределенном фонде недр. Предварительно оценены ресурсы на более

чем 40 месторождениях суммарной мощностью более 200 млн куб. м.

Кроме традиционного применения песков в качестве мелкого заполнителя бетонов, как показывают исследования специалистов СВФУ [7, 8], их целесообразно использовать в производстве механоактивированных сухих смесей для изготовления широкой номенклатуры бетонных изделий и конструкций, в том числе ячеистых бетонов.

СВФУ имеет достаточный научный и практический опыт производства автоклавного пенобетона из кварцполевошпатового доступного речного песка. Инновационно-технологический центр запустил пилотное производство автоклавного пенобетона. На его основе построены два девятиэтажных жилых здания высокой энергоэффективности, ряд индивидуальных домов в Якутске, пос. Нижний Бестях, с. Олекминск и др.

На сегодняшний день СВФУ продвигает проект по автоклавному пенобетону с размещением производства в пос. Нижний Бестях, в последующем в гг. Ленск и Вилюйск. Проект направлен на создание в заречной группе районов опорной точки по производству эффективных стеновых строительных материалов для обеспечения строительства объектов социальной инфраструктуры и индивидуального жилья.

Общий объем инвестиций проекта составляет 112 млн рублей при годовом объеме выпуска изделий 20 тыс. м³ и окупаемости производства в 4,3 года.

Цеолитсодержащая порода

В настоящее время СВФУ совместно ООО «Сунтарцеолит» и ООО «Модис» (г. Рыбинск) продвигается инновационный проект организации производства гранулированного пеностекла — пеноцеолита из цеолитсодержащих пород Сунтарского месторождения [8]. Выбор цеолита обусловлен доступностью и огромным запасом природного сырья, низкой энергоемкостью его переработки из-за «мягкости» исходной горной породы. На сегодня разведаны и утверждены запасы в 11465 тысяч тонн [1].

Физико-механические характеристики пеноцеолита соответствуют требованиям ТУ 5914-001-15068529-2006 «Универсальный пористый материал термоизоляционный УПМ «Термоизол»: насыпная плотность составляет 150–350 кг/м³ в зависимости от фракции 0,5–10 мм, коэффициент теплопроводности – 0,06–0,10 Вт/(м·К). На основе пеноцеолита изготовлены и испытаны образцы легких бетонов со следующими характеристиками: при средней плотности 400 кг/м³

класс бетона составляет B1,5, 500 кг/м 3 – B2,5 и 600 кг/м 3 – B3,5 [8, с. 157].

Общая сумма необходимого финансирования проекта составляет 65 800 тыс. рублей. Финансовые средства будут направлены на оплату капитальных вложений в сумме 59 650 тыс. рублей и формирование первоначальных оборотных средств в размере 6 150 тыс. рублей.

Заключение

Для рационального использования природного минерального сырья в производстве строительных материалов Якутии целесообразно развивать и использовать как традиционные, так и инновационные строительные технологии, в том числе следует отметить:

- возможность расширения номенклатуры продукции АО ПО «Якутцемент» освоением специальных видов цемента (сульфатостойкого, расширяющегося и др.), а также сопутствующего производства извести, гипса и композиционных гипсовых вяжущих;
- целесообразность продвижения инновационных проектов СВФУ (кирпичный завод на основе глинистого сырья Санниковского месторождения, производство автоклавного пенобетона с использованием кварцполевошпатового речного песка, выпуск гранулированного пеностекла пеноцеолита на основе цеолитсодержащих пород Сунтарского месторождения) с учетом наличия и пригодности минерального сырья;
- технико-экономическую эффективность создания быстроразворачиваемых производств тяжелого и легкого бетонов, стеновых изделий на основе ячеистого бетона, арболита и грунтобетона с использованием предлагаемых композиционных вяжущих веществ и местных заполнителей для малоэтажного строительства в сельской местности.

Список литературы

- 1. Стратегия развития промышленности строительных материалов Республики Саха (Якутия) на период до 2020 года / Минстрой РС(Я). URL: https://minstroy.sakha.gov.ru/ (дата обращения: 21.10.2017).
- 2. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2.- М.: Объединение «Союзгеолфонд», 1988.-421 с.
- 3. Бердов Г.И., Ильина Л.В. Активация цементов действием минеральных добавок // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2010. -№ 9. -C. 55-58.
- 4. Бикбау М.Я. Бетоны на наноцементах: свойства и перспективы / М.Я. Бикбау, Д.В. Высоцкий, И.В. Тихомиров // Технологии бетонов. 2011. № 11–12. С. 31–34.
- 5. Монтянова А.Н. Специфические особенности закладочных работ на руднике «Мир» алмазодобывающей АК

- «АЛРОСА» / А.Н. Монтянова, Д.С. Кириллов, И.В. Штауб, Е.В. Бильдушкинов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. $2012.- N\!_{2} 4.- C.~10-14.$
- 6. Рожин В.Н., Местников А.Е. Пенобетоны на быстротвердеющем цементе из местного сырья Якутии // Фундаментальные исследования. -2016. -№ 2-1. -C. 86-89.
- 7. Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение. Сб. материалов III Всерос. научно-практ. конф. Якутск, Северо-Восточный федеральный университемени М.К. Аммосова [Электронный ресурс]. 2014. С. 327–331. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22217845 (Дата обращения: 21.10.2017).
- 8. Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережения: сб. статей IV Всерос. научно-практ. конф., посвященной 60-летию Инженерно-технического института СВФУ им. М.К.Аммосова. под ред. доц. А.Е. Саввиной [Электрон-

- ный pecypc]. -2016. С. 432–437. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27590406 (дата обращения: 21.10.2017).
- 9. Федорова Г.Д., Матвеева О.И., Павлюкова И.Р., Васильев И.Г. Высококачественные бетоны для конструкций мостов и гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в климатических условиях Якутии // Бетон и железобетон взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12–16 мая 2014 г.) Т. 5. Москва: МГСУ, 2014. С. 72–85.
- 10. Куба В.В., Егорова С.Ю., Егорова А.Д. Факторы, влияющие на прочность арболита на основе гипсоцементно-цеолитового вяжущего // Промышленное и гражданское строительство. -2016. -№ 8. C. 42–45.
- 11. Богдокумова С.В., Егорова А.Д. Композиционные гипсовые вяжущие с применением горелых пород для пенобетонов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. 2017. № 11(25). URL: http://sibac.info/archive/technic/11(25).pdf (дата обращения: 29.10.2017).

УДК 62-822:622.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБЪЁМНОГО ГИДРОПРИВОДА С ДИЗЕЛЕМ МОБИЛЬНОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ

Озерский А.И., Сидоренко В.С., Ракуленко С.В., Полешкин М.С.

Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, e-mail: poleshkin.maks@gmail.com

Исследованы динамические режимы совместной работы объёмного гидропривода с дизелем мобильной буровой машины УРБ-2,5С. Исследования выполнены с целью анализа энергозатрат на различных режимах установки. В математической среде MathCad создана компьютерная модель единой теплогидромеханической системы машины. С помощью этой модели выполнен анализ особенностей влияния внешних нагрузок на характер расхода топлива и частоту вращения вала дизеля. Созданная модель является основой для дальнейших исследований уменьшения расхода топлива с целью повышения экономичности единой теплогидромеханической системы буровой машины. Предлагаемый способ моделирования позволяет повысить эффективность расчетов до 15—17 % при исследовании динамических процессов, сопровождающих работу гидроприводов буровых установок с дизелем тип. Д100 и родственных ему конструкций на различных режимах их эксплуатации.

Ключевые слова: мобильные буровые машины, дизельный двигатель, объёмный гидравлический привод, математическое и компьютерное моделирование, энергосберегающие теплогидромеханические системы

RESEARCH OF DYNAMIC MODES OF VOLUMETRIC HYDRAULIC DRIVE WITH DIESEL ENGINE MOBILE DRILLING MACHINE

Ozerskiy A.I., Sidorenko V.S., Rakulenko S.V., Poleshkin M.S.

Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, e-mail: poleshkin.maks@gmail.com

Dynamic modes of teamwork of a volume hydrodrive gear with a diesel engine of mobile chisel car YPb-2,5C are investigated. Probes are executed for the purpose of the analysis of power inputs on various modes of behaviour of the car. In mathematical MathCad environment the computer model uniform heathydromechanical system is created. On the basis of this model the analysis of features of influence of external loadings on character of fuel consumption and rotary speed of a shaft of a diesel engine is made. The created model is a basis for the further probes of possibility of reduction of fuel consumption for the purpose of increase of profitability uniform heathydromechanical systems of the chisel car.

Keywords: mobile chisel cars, diesel engine, volume hydrodrive gear, mathematical and computer modeling, power saving up heathydromechanical systems

Силовой гидравлический привод (ГП) буровых машин с дизельными двигателями разделяют на два типа: механический и гидромеханический. В настоящее время большее распространение получил гидромеханический привод как наиболее эффективный и экономичный [1]. Дальнейшее повышение экономичности ГП буровых машин приводит к необходимости исследований его совместной работы с дизелем как единой теплогидромеханической системы (ТГМС). Результаты исследований, по определению рациональных режимов функционирования таких систем, что позволяет снизить себестоимость буровых работ и затраты на геологоразведку. В этой связи исследования, направленные на повышение экономичности и рационального использования энергоресурсов являются актуальными [2, 3].

Повышение экономичности работы ГП эффективно исследовать с применением компьютерных технологий моделирования, позволяющих производить виртуальные испытания. Для этого необходимы более совер-

шенные *обобщённые* модели ГП, а именно, их технические, физические, математические и компьютерные модели, объединённые с одноимёнными моделями источников и потребителей энергии привода. Обобщённые модели ГП должны быть моделями единых теплогидромеханических систем (ТГМС), удобными для использования в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Обобщённая модель объёмного гидропривода с дизелем

В качестве объекта моделирования здесь рассматривается теплогидромеханическая система буровой машины УРБ-2,5С (производство ООО «Завод Стройнефтемаш») [4]. Модель исследуемого дизеля (мощностью 240 л.с.) является геометрической моделью, построенной на базовой модели дизеля типа Д100, описанной в работе [5]. В качестве базовой модели гидромашин исследуемой системы приводов здесь выбрана модель объёмной обратимой гидравлической машины типа 310.4.112 (рис. 1).

Конструктивная особенность моделируемого объёмного гидропривода с дизелем состоит в том, что он представляет собой одновременно работающую и независимую друг от друга разветвленную систему объёмных приводов (рис. 1) с двумя однотипными объёмными насосами и разными по типу гидромоторами. Первый гидромотор (ГМ1) обеспечивает вращательное движение бурового инструмента, второй (ГМ2) – поступательное.

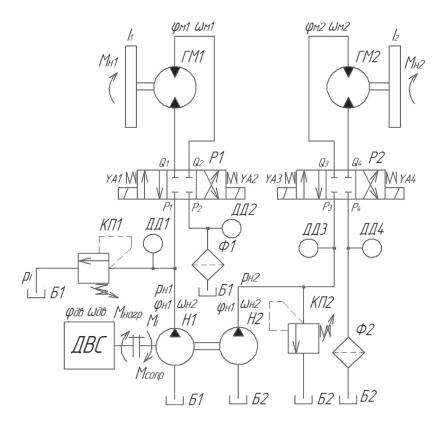


Рис. 1. Принципиальная схема технической модели гидропривода с дизелем и разветвлённой объёмной гидроприводной системой: ГМ1, ГМ2 – гидромотор; ДВС – дизель; ДД1 – ДД4 – датчики давления; Р1, Р2 – гидравлические распределители; Н1, Н2 – объёмные насосы; КП1, КП2 – клапаны

Исходные данные для моделирования

№ п/п	Параметры	Обозначение	Диапазон
1	Внешняя нагрузка, Н м	M	0–240
2	Коэффициент перегрузки	k _{перегр}	0,35
3	Коэффициент сопротивления вращению вала дизеля	Ксопр	0,153
4	Угол поворота вала дизель-двигателя, рад/с	φ	0–41,9
5	Радиус кривошипа, м	$R_{_{\mathrm{kpm}}}$	0,062
6	Диаметр поршня дизеля, м	$D_{_{\Pi}}$	0,101
7	Рабочий объём гидродвигателя, м ³	$q_{_{M}}$	1,543·10-4
8	Объёмный КПД гидродвигателей	$\eta_{_{\mathrm{M1of}}}$	0,95
9	Рабочий объём насосов, м ³	$q_{_{\scriptscriptstyle H}}$	1,7·10-4
10	Объёмный КПД насоса	$\eta_{_{\mathrm{H}106}}$	0,95
11	Давление на входе в гидромотор, Па	р	1,9·107
12	Давление на выходе гидромотора, Па	р	2,9·10 ⁵
13	Давление в напорной линии насоса, Па	р	2,0·107

Исходными данными для технического моделирования исследуемой системы приводов послужили кинематические, гидравлические, а также — энергетические параметры теплогидромеханической системы (дизель — гидронасос — гидромотор) реальной машины УРБ-2,5С. Исходные данные для моделирования представлены в таблице.

Математическая модель объёмного гидропривода с дизелем

Математическая модель объёмного гидропривода с дизелем представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих тепловые, гидравлические, а также механические процессы, сопровождающие работу привода на различных режимах его эксплуатации. Отметим, что число дифференциальных уравнений системы в процессе работы модели привода может изменяться, например, при включении нового источника или потребителя энергии привода.

В работе используется аппарат математического моделирования так называемых гибридных динамических систем [6]. Эти системы являются математическими моделями физических объектов, поведение которых непрерывно меняется в зависимости от изменения как сигналов управления, так и внешних воздействий.

1.2.1. Подмодель кинематики гидромашин привода:

$$\phi \text{H} 1 = 0, \text{если } 0 \leq \tau < \tau \text{ тнагр, иначе}$$

$$\phi \text{H} 1 = 2 \cdot \phi \text{дв,}$$

$$\phi \text{H} 2 = \phi \text{H} 1,$$

$$\phi \text{M} 1 = \eta \text{H} 1 \text{O} 6 \cdot \eta \text{M} 1 \text{O} 6 \cdot \frac{q \text{H} 1}{q \text{M} 1} \cdot \phi \text{H} 1,$$

$$\phi \text{M} 2 = \eta \text{H} 2 \text{O} 6 \cdot \eta \text{M} 2 \text{O} 6 \cdot \frac{q \text{H} 2}{q \text{M} 2} \cdot \phi \text{H} 2,$$

$$\phi \text{двгр} = \frac{360}{2\pi} \phi \text{дв,}$$

$$\phi \text{дв } = \phi,$$

$$\phi \text{дв } = \phi,$$

$$\phi \text{H} 1 = 0, \text{ если } 0 \leq \tau < \tau \text{нагр, иначе}$$

$$\omega = \dot{\phi},$$

$$\omega \text{H} 1 = 2 \cdot \omega,$$

$$\omega \text{H} 2 = \omega \text{H} 1,$$

$$\omega \text{M} 1 = \eta \text{H} 1 \text{O} 6 \cdot \eta \text{M} 1 \text{O} 6 \cdot \frac{q \text{H} 1}{q \text{M} 1} \cdot \omega \text{H} 1,$$

$$\omega \text{M} 2 = \eta \text{H} 2 \text{O} 6 \cdot \eta \text{M} 2 \text{O} 6 \cdot \frac{q \text{H} 2}{q \text{M} 2} \cdot \omega \text{H} 2.$$

Здесь т – время процесса; тнагр – время начала действия нагрузки; фдвгр, фдв,

φ – углы поворота вала дизеля в градусах и в радианах соответственно; ω – угловая скорость вала дизеля; φн1, φн2, φм1, φм2, ωн1, ωн2, ωм1, ωм2 – углы поворота (в радианах) и угловые скорости вращения валов насосов и моторов соответственно; ηноб1, ηноб2, ηмоб1, ηмоб2 – объёмные КПД насосов и моторов, соответственно; qн1, qн2, qм1, qм2 – рабочие объёмы насосов и моторов соответственно.

1.2.2. Подмодель гидронасосов и гидромоторов как многопоршневых гидромашин:

$$\begin{split} M_{H\Sigma} &= M_{H\Sigma}(\phi_H, \Delta \mathrm{ph}), \\ Q_{H\Sigma} &= Q_{H\Sigma}(\phi_H, \dot{\phi}_H), \\ M_{M\Sigma} &= M_{M\Sigma}(\phi_M, \Delta \mathrm{pm}), \\ Q_{M\Sigma} &= Q_{M\Sigma}(\phi_M, \dot{\phi}_M), \\ \dot{Q}_{H\Sigma} &= Q_{H\Sigma}(\phi_H, \dot{\phi}_H, \dot{\phi}_H). \end{split}$$

Здесь $M_{H\Sigma}$, $M_{M\Sigma}$ — вращающие моменты на валах насосов и моторов, учитывающие работу всех поршней объёмных машин, соответственно; Δ рн, Δ рм — перепады давления рабочей жидкости на гидронасосе и гидромоторе, обусловленные внешней нагрузкой, соответственно; $Q_{H\Sigma}$, $Q_{M\Sigma}$ — объёмные расходы рабочей жидкости через насосы и моторы, учитывающие подачу всех цилиндров, соответственно; $Q_{H\Sigma}$ — производная по времени от объёмной подачи насоса;

Приведенные характеристики гидронасосов и гидромоторов как многопоршневых объёмных гидромашин рассчитываются по отдельным программам, учитывающим работу каждого поршня машины.

1.2.3. Подмодель, описывающая топливные и индикаторные характеристики базовой модели дизеля (типа Д100):

$$\dot{m}\text{гор} = 0,0000528, \text{ если } \tau \leq 0,$$

$$\dot{m}\text{гор} = 0,0000528 + 0,000528(1 - e^{-k\text{гор} \cdot \tau}),$$

$$\text{ если } 0 \lhd \tau \lhd \tau\text{нагр},$$

$$\dot{m}\text{гор} = 3,747 \cdot 10^{-3} + 0,0066(1 - e^{-k\text{ гор}(\tau - \tau\text{нагр})}),$$

$$\text{ если } \tau \rhd \tau\text{нагр},$$

$$\eta i = 0,233 + \frac{0,461 - 0,233}{850 - 400}(n - 400),$$

$$pi\Pi a = \dot{m}\text{гор} \cdot Q\text{гор} \cdot \eta i \frac{60}{Vh \cdot 20 \cdot n},$$

$$pi = \frac{pi\Pi a}{0,981 \cdot 10^5 \Pi a},$$

$$Mi = \frac{1}{\Omega} \dot{m}\text{гор} \cdot Q\text{гор} \cdot \eta i.$$

Здесь \dot{m} гор — массовый расход подаваемого горючего; kгор — коэффициент, учитывающий скорость горения топлива;

n — частота вращения вала дизеля, об/мин; Vh — суммарный объём цилиндров двигателя; ηi — индикаторный КПД дизеля; piПа — индикаторное давление, Па; pi — индикаторное давление, кгс/см²; Qгор — низшая теплотворная способность горючего, Дж/кг; Mi — вращающий индикаторный момент, развиваемый валом двигателя, Дж.

1.2.4. Подмодель внешней нагрузки:

$$\Delta p M 1 = 0, если \ 0 \le \tau \lhd \tau_{\text{НАГР}},$$

$$\Delta p M 1 = k M 1 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}), ecли \ \tau_{\text{НАГР}} \le \tau \lhd \tau_{\text{ПЕРЕГР}},$$

$$\Delta p M 1 = k M 1 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}) +$$

$$+k \text{перегрм1} \cdot k M 1 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}) \text{ если } \tau_{\text{перегр}} \le \tau,$$

$$\Delta p M 2 = 0 \text{ если } 0 \le \tau \lhd \tau_{\text{НАГР}},$$

$$\Delta p M 2 = k M 2 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}) \text{ если } \tau_{\text{НАГР}} \le \tau \lhd \tau_{\text{ПЕГР}},$$

$$\Delta p M 2 = k M 2 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}) +$$

$$+k \text{перегрм2} \cdot k M 2 \cdot 200 \cdot 0, 981 \cdot 10^5 \cdot (1 - e^{-k \text{HAГР}(\tau - \tau \text{HAГР})}) \text{ если } \tau_{\text{перегр}} \le \tau,$$

$$\Delta p M 1 = \Delta p M 1 + \Delta p M 1 \text{ потерь},$$

$$\Delta p M 2 = \Delta p M 2 + \Delta p M 2 \text{ потерь},$$

$$\Delta p M 2 = \Delta p M 2 + \Delta p M 2 \text{ потерь},$$

$$M M 1 = M M \Sigma (\phi H 1, \Delta p H 1, p H 1 \text{ Bc}),$$

$$M H 2 = M H \Sigma (\phi H 2, \Delta p H 2, p H 2 \text{ Bc}),$$

$$M conp = k conp \cdot \omega^2,$$

$$M conp = k conp \cdot \omega^2,$$

$$M harp = 0 \text{ если } 0 \le \tau \lhd \tau_{\text{HAГР}} \text{ иначе},$$

$$M harp = M M 1 + M M 2.$$

Здесь тперегр – время начала действия перегрузки; kнагр, kперегр – коэффициенты, учитывающие скорость возрастания нагрузки и перегрузки соответственно; Δ рм1, Δ рм2, Δ рн1, Δ рн2 – перепады давления на гидромоторах и гидронасосах; Δ рм1потерь, Δ рм2потерь – потери давления в моторных каналах за счёт трения; Mн1, Mн2, – моменты сил сопротивления вращению валов насосов, определяемые внешней нагрузкой; Мсопр, Мнагр – вращающие моменты сил сопротивления и внешней нагрузки на валу дизеля.

1.2.5. Подмодель движения вала дизеля с объёмным гидроприводом.

$$\dot{\boldsymbol{\varphi}}\!=\!\frac{1}{J}(\mathbf{M}_{\boldsymbol{\Sigma}}(\boldsymbol{\varphi}\boldsymbol{\Gamma}\boldsymbol{\mathrm{pad}},\boldsymbol{pi})(\boldsymbol{\mathrm{sn}}\!\cdot\!lkr)\!-\!\mathbf{M}\boldsymbol{\mathrm{conp}}\!-\!\mathbf{M}\boldsymbol{\mathrm{Harp}}),$$

$$s\pi = \left(\frac{0,101}{0,207}\right)^2,$$

$$lkr = \frac{0,062}{0.127}.$$

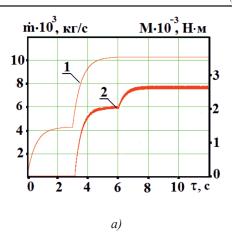
Здесь $\ddot{\varphi}$ — угловое ускорение вала дизеля; J — момент инерции вращающихся частей двигателя и внешней нагрузки;

 ${\rm M}_{\Sigma}({\rm \phi}$ град,pi) — суммарный вращающий момент нижнего вала дизеля (рассчитывается по отдельной программе для дизеля типа Д100) [5]; Мсопр, Мнагр — вращающие моменты сил сопротивления и внешней нагрузки на валу дизеля соответственно; SП, lkr — коэффициенты моделирования: SП — коэффициент моделирования, равный отношению площади поршня двигателя исследуемой модели к площади поршня базового двигателя типа Д100 соответственно; lkr — коэффициент моделирования, равный отношению длины кривошипа двигателя модели к длине двигателя Д100 соответственно.

Результаты компьютерных исследований

На рисунках, представленных ниже, показаны результаты исследования особенностей различных режимов совместной работы объёмного гидропривода буровой машины с дизелем как единой теплогидромеханической системы.

Так, на рис. 2—4 показаны особенности запуска системы, выход системы на холостой ход, а также работа системы с нагрузкой и перегрузкой.



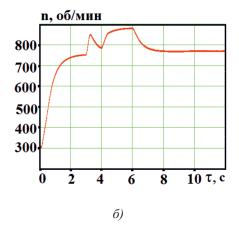
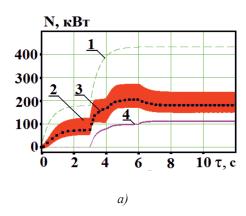


Рис. 2. Характеристика динамических режимов работы дизеля



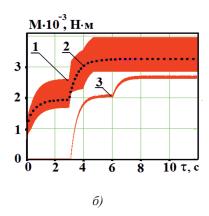


Рис. 3. Характеристика работы дизеля с системой объёмных приводов

Запуск дизеля начинается при $\tau=0$ (рис. 2). Выход системы на холостой ход дизеля заканчивается через 3 с после запуска дизеля. После этого начинает действовать расчётная нагрузка $\tau_{\text{НАГР}}=3$ с. Перегрузка начинает действовать при $\tau_{\text{ПЕРЕГР}}=6$ с. При этом частота вращения вала дизеля уменьшается (см. кривую на рис. 2, б), так как подача топлива (кривая 1 на рис. 2, а) в это время не увеличивается в соответствие с нагрузкой (см. кривую 2 на рис. 2, а), а остаётся постоянной.

На рис. 3, а, можно видеть особенности изменения: мощности тепловой энергии, используемой дизелем (кривая 1), мощности крутильных колебаний его вала (кривая 2), индикаторной мощности дизеля (кривая 3), а также — мощности внешней нагрузки (кривая 4). На рис. 4, б показан характер изменения: крутильных колебаний вала дизеля (кривая 1), вращающего индикаторного момента (кривая 2), а также — вращающего момента внешней нагрузки (кривая 3).

На рис. 4можно видеть, как изменяется экономичность совместной работы дизеля с системой объёмных приводов на исследуемых режимах. Здесь кривая 1 характеризует изменение полного КПД дизеля, кривая 2 — изменение его индикаторного КПД.

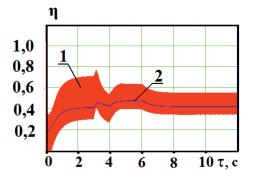


Рис. 4. Показатели эффективности работы дизеля с системой объёмных приводов на исследуемых режимах

Выводы

В работе выполнены исследования динамических режимов работы гидравлического привода буровой машины с дизелем. Исследования проведены с помощью оригинального метода, отличающегося учётом особенностей совместной работы дизеля (движения каждого поршня) с системой гидравлических приводов. Выполнены исследования характера изменения крутильных колебаний вала дизеля, а также вращающего индикаторного момента при работе дизеля с системой приводов буровой машины на холостом ходу, с нагрузкой и перегрузкой, позволяющие выявить особенности влияния внешних нагрузок на характер расхода топлива и частоту вращения вала дизеля.

Предлагаемый способ моделирования позволяет повысить точность расчётов до 15–17%, а также качество исследования динамических процессов, сопровождающих работу гидроприводов буровых установок

с дизелем на различных режимах их эксплуатации как единых теплогидромеханических систем.

Список литературы

- 1. Сидоренко В.С. Адаптивный гидропривод с объемным регулированием подачи инструмента технологической машины / В.С. Сидоренко, В.И. Грищенко, С.В. Ракуленко, М.С. Полешкин // Вестник ДГТУ. 2017. Т. 17, № 2. С 88—98
- 2. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. 679 с.
- 3. Старцев О.И. Оптимизация расхода топлива двигателями геологоразведочных самоходных буровых установок: дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 135 с.
- $4.\ TY\ 3662-602-70654677-2007.\ Установки разведочного бурения <math display="inline">58821-0000010,\ 58822-0000010,\ 5882-0000010$ (УРБ-2.5). ЗАО «Завод Стройнефтемаш», $2007.-30\ c.$
- 5. Озерский А.И. Модель рабочего процесса дизеля на водотопливных эмульсиях / А.И. Озерский, И.А. Иванов, Ю.И. Бабенков // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. 2011.- N 26.- C.79—85.
- 6. Новиков Е.А., Шорников Ю.В. Численное моделирование гибридных систем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, $2012.-451\ c.$

УДК 004.932.2

ПОИСК ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С КОНТУРНЫМ ФОРМАТОМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Патрушев А.О., Осипов М.П.

Институт информационных технологий, математики и механики, Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: osipovmp@mail.ru

В работе представлен алгоритм обработки контурных описаний изображений с целью повышения эффективности выявления объектов прямоугольной формы, чья внешняя граница на изображении распалась на несколько цветовых сегментов либо прерывается другими объектами. В процессе работы алгоритма контуры объединяются в специальную единую графовую структуру, в которой точки различных контуров насодящиеся в непосредственной близости друг к другу объединяются, а точки, расположенные поблизости с линиями контуров, проецируются на контур и включаются в него. На полученном графе осуществляется поиск четырёхугольных структур. При этом учитывается возможность наличия промежуточных точек на линиях искомого четырехугольника и их отклонения в пределах некоторой окрестности. Предложены подходы для ускорения работы алгоритма. Алгоритм эффективно обнаруживает объекты на изображении, представляющие собой плоские прямоугольные области в пространстве. В частности, предложенный алгоритм может быть использован в задаче автономной навигации в закрытых помещениях для поиска информационных объектов помещения прямоугольной формы, таких как названия и номера помещений, знаки пожарной безопасности, планы эвакуации и т.п.

Ключевые слова: компьютерная графика, обработка изображений, выделение контуров

FINDING THE BOUNDARIES OF RECTANGULAR OBJECTS IN IMAGES WITH A CONTOUR REPRESENTATION FORMAT

Patrushev A.O., Osipov M.P.

Institute of Information Technologies, Mathematics and Mechanics, Lobachevsky State University, Nizhni Novgorod, e-mail: osipovmp@mail.ru

In this paper, an algorithm for processing contour descriptions of images is presented to improve the detection efficiency of rectangular objects whose outer boundary on the image has broken up into several color segments or is interrupted by other objects. In the process of the algorithm, contours are combined into a special single graph structure, in which the points of various contours in close proximity to one another are combined, and the points located near the contour lines are projected onto the contour and added to it. On the graph searches for rectangular structures. In this case takes into account the possible presence of intermediate points on the lines of the searched quadrilateral and their deviations within a certain vicinity. Approaches are proposed to accelerate the operation of the algorithm. The algorithm effectively detects objects in the image, which are flat rectangular areas in space. In particular, the proposed algorithm can be used in the task of Autonomous navigation in indoor spaces to search for information objects of the room a rectangular shape such as names and room numbers, fire safety signs, evacuation plans, etc.

Keywords: computer graphics, image processing, contours extraction

Основной недостаток алгоритмов поиска объектов на изображениях, полученных после операции выделения контуров, состоит в их неспособности надежно разделять контуры по отдельным объектам. Объекты могут быть составными или перекрываться. Такая конфигурация может вносить значительные искажения в описания контуров объектов, и в результате информация, необходимая для распознавания объекта, окажется в нескольких несвязанных цепочках контуров.

Для наглядности основные возможные сложности для алгоритма, ищущего прямоугольные объекты на изображении, собраны в одном синтезированном изображении и пронумерованы (рис. 1).

Варианты расположения объекта на изображении:

1. Контакт с областью другого цвета.

- 2. Небольшой заслоняющий объект.
- 3. Разделение объекта на несколько независимых контуров вследствие перекрытия другим объектом.
 - 4. Выход за пределы изображения.
 - 5. Общая грань с областью другого цвета.
- 6. Небольшой размер (область слишком мала для надежного распознания).
 - 7. Общая грань с областью другого цвета.
- 8. Контакт с другой областью того же цвета.

Подобные варианты расположения объектов с высокой долей вероятности приводят к искажению описывающих объекты контуров, что делает невозможным определение среди них искомых объектов.

Цель исследования

Целью данного исследования является создание структуры, описывающей конту-

ры на изображении, и поиск по этой структуре объектов с определенными геометрическими особенностями. В частности, работа алгоритма рассматривается на примере поиска объектов на изображении представляющих собой плоские прямоугольные области в пространстве.

В качестве образца возможных комбинаций положения прямоугольных объектов по отношению друг к другу будет рассматриваться синтезированное изображение (рис. 1).

Контуры объектов на изображении находятся с помощью алгоритма Сузуки [1]

и аппроксимируются методом Дугласа – Пекера [2]. Результат работы этих алгоритмов представлен на рис. 2.

Алгоритм выделения контуров изображения определил отдельно области 6, 5 (рис. 1), но при этом описал их два раза, по внешнему и по внутреннему краю контура. Объединил в один объект области 1 и 2 (рис. 1), при этом у области 1 остался четырехугольный внутренний контур, а на области 2 образовался набор лишних контуров. Области же 7, 8 (рис. 1) не образовали замкнутого внешнего контура вообще.

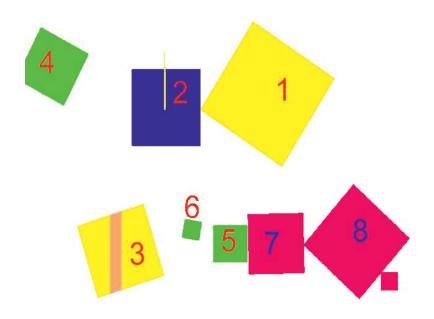


Рис. 1. Возможные комбинации положения прямоугольных объектов по отношению друг к другу

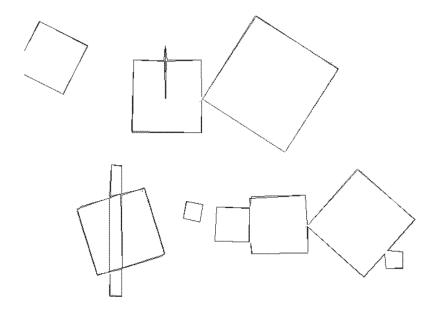


Рис. 2. Результат работы алгоритмов выделения контуров на синтезированном изображении

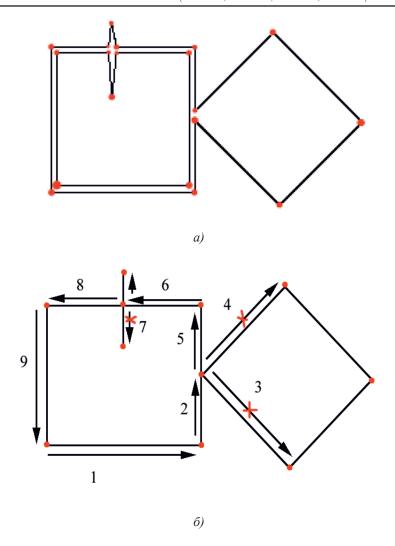


Рис. 3. Контурное описание до (a) и после (б) преобразования. Порядок обхода графа при поиске объектов прямоугольной формы (б)

Для дальнейшего описания нужно объединить цепочки в единую сеть. Алгоритм должен обнаружить все близлежащие точки и связать их друг с другом. Например, контуры, образованные областями 1 и 2 (рис. 3, а), должны преобразоваться как на рис 3, б. Подобную структуру удобнее всего хранить в двусвязном графе.

Для определения «разорванных» объектов, т.е. объектов, определяемых не единственной цепочкой контуров, алгоритм объединяет все найденные цепочки контуров в единый граф. При добавлении в граф нового контура каждая его точка по очереди проверяется на близость к уже добавленным вершинам графа. В случае обнаружения таких вершин точка сливается с ранее добавленными вершинами графа и к ним добавляются только дополнительные связи. На рис. 4 представлен результат объедине-

ния в единый граф контуров объектов 1 и 2 из рис. 1. Небольшой треугольник между вершинами 1 и 2 увеличен, чтобы показать, что линия, соединяющая эти точки на самом деле описывается два раза. Подобное переопределение может затруднить поиск объектов в дальнейшем, поэтому все вершины, расположенные рядом с ребрами графа, соединяются с ними. Для каждой вершины считается расстояние до всех ребер, которым она не принадлежит, и, если растояние меньше заданного предела, вершина проецируется на ребро и разбивает его на два новых. Чтобы ускорить проверку, изображение разбивается сеткой на участки, для каждого из которых записываются ребра проходящие через него. Такой подход позволяет сократить число проверяемых ребер до нескольких единиц на каждую вершину.

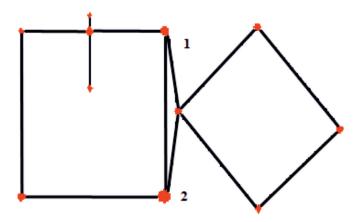


Рис. 4. Результат объединения цепочки контуров

Полученный граф будет описывать контуры исходного изображения. При этом объекты, для которых было обнаружено несколько отдельных контуров, будут полностью описываться одной областью связанности графа.

На следующем этапе работы алгоритм производит очистку графа от лишней информации. Удаляются все вершины, имеющие только одно ребро. Для сохранения информации они помечаются как «неактивные». Так же удаляются вершины, имеющие два ребра и образующие угол близкий к развернутому. Такие вершины не могут быть угловыми для четырехугольного объекта, и их анализ будет лишней тратой времени.

На получившемся графе производится поиск контуров, которые образуют на изображении четырехугольник с заданными параметрами. Искомый контур должен быть выпуклым, обладать площадью и геометрией, достаточной для стабильной работы алгоритма распознавания.

Поиск производится в глубину от каждой вершины графа. Вершины, предположительно являющиеся угловыми, записываются в стек, а остальные вершины пропускаются. После накопления четырех вершин в стеке производится попытка замкнуть образовавшийся контур. В случае успеха получившийся четырехугольник подвергается дополнительным проверкам, чтобы подтвердить его принадлежность границе плоского прямоугольного объекта.

Пример прохода алгоритма изображен на рис. 3, б. Начав из нижней левой, алгоритм пройдет к первой вершине (стрелка 1) и добавит ее в стек. Обнаружив единственную дополнительную вершину, связанную с текущей, алгоритм перейдет к ней (стрелка 2), при этом будет зафиксировано

направление угла поворота. От следующей вершины отходят три дополнительных ребра. Два из них (стрелки 3 и 4) отклоняются в сторону противоположную необходимой и не смогут образовать выпуклый четырёхугольник. Оставшееся ребро идет почти параллельно ребру, по которому алгоритм пришел в эту точку (стрелка 5), и поэтому переход будет осуществлен, при этом точка записана не будет. Таким же образом алгоритм проследует по шестой стрелке, упрется в тупик, проследовав по стрелке 7, и, вернувшись назад через стрелки 8 и 9, доберется до изначальной вершины, замкнув круг (рис. 3, б).

При поиске объектов на изображении, представляющих собой плоские прямоугольные области в пространстве, наиболее важной частью является определение угла между ребрами ограничивающего контура. При проходе каждого ребра вычисляется синус угла текущего ребра с предыдущим. На основе этого принимается решение о продолжении поисков и записи вершины в стек угловых вершин. На рис. 5 демонстрируется визуальная интерпретация принятия решения.

Если новое ребро направлено в красную зону, вершина не подходит и ее можно не рассматривать дальше. Зеленая зона означает, что новое ребро можно рассматривать как продолжение старого, поиск продолжается, при этом точка принятия решения не будет включена в итоговый четырехугольник. Для желтой зоны поиск будет продолжен, при этом точка принятия решения будет считаться точкой четырехугольника.

Представленный алгоритм способен выделить плоские прямоугольники в пространстве при условии, что их границы найдены четко и не имеют разрывов больше нескольких пикселей.

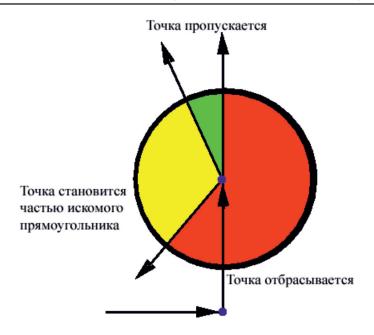


Рис. 5. Визуализация принятия решения при поиске контура

Для борьбы с разрывами в найденных границах предполагается использовать эвристические алгоритмы, основывающиеся на доопределении линий на основе близлежащих ребер графа, не относящихся к той части, на которой идет поиск (подразумевается, что доопределяющее ребро может не являться частью выделяемого объекта вообще).

Предложенный алгоритм может эффективно использоваться для поиска «информационных объектов» помещения в задаче автономной навигации в закрытых помещениях [3–6]. Это могут быть названия и номера помещений, планы эвакуации, знаки пожарной безопасности и т.д. Все эти объекты представляют собой плоские прямоугольные области в пространстве. Аналогичным образом можно производить поиск треугольных табличек. Например, знаков, предупреждающих о высоком напряжении.

Получившийся в процессе работы граф можно использовать для анализа других объектов в задаче навигации. Например, с его помощью можно существенно облегчить поиск на изображении таких объектов, как лестницы [7], коридоры и двери [8–10]. Алгоритмы поиска таких объектов, как правило, базируются на детектировании линий с использованием преобразования Хафа [11]. При этом изначально не учитывается физическое расположение линий на изображении, разрывы, препятствия, что

вызывает ложные срабатывания или затрудняет детектирование. В то время как наличие уже найденных линий на изображении позволит упростить поиск этих объектов. Граф позволяет задать поиск в глубину или поиск по всем объектам с настраиваемыми фильтрами для выделения необходимых объектов, будь то линии или геометрические фигуры.

Заключение

В ходе работы разработана и реализована структура для хранения описаний контуров, исключающая лишние определения и разрывы (несколько цепочек контуров описывают один большой контур). При этом контурное изображение практически не искажается, что позволяет проводить дальнейший анализ. Разработан настраиваемый алгоритм поиска объектов на контурном описании, которые соответствуют заданным геометрическим критериям.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-07-01214 A.

Список литературы

- 1. Suzuki S., Abe K. Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following // Computer Vision Graphics and Image Processing. 1985. Vol. 30, Issue 1. P. 32–46.
- 2. David Douglas, Thomas Peucker. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature // The Canadian Cartographer. 1973. Vol. 10, no. 2. P. 112—122.

- 3. Vasin Yu.G., Osipov M.P., Egorov A.A., Yasakov Yu.V. Autonomous Indoor 3D Navigation // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015. Vol. 25, No. 3. P. 373–377.
- 4. Vasin Yu.G., Osipov M.P., Egorov A.A., Kustov E.A., Yasakov Yu.V. Autonomous indoor navigation based on 3D modeling, Proceedings of the 11-th International Conference «Pattern recognition and image analysis: new information technologies» (PRIA-11-2013), 2013. Vol. 2. P. 476–478.
- 5. Осипов М.П., Патрушев А.О. Методы корректировки местоположения в задаче автономной навигации в закрытых помещениях / М.П. Осипов, А.О. Патрушев // Труды 26-ой Международной конференции по компьютерной графике и зрению. 2016. С. 417—419.
- 6. Осипов М.П., Патрушев А.О. Повышение надежности позиционирования в задаче автономной навигации в закрытых помещениях / М.П. Осипов, А.О. Патрушев // SCVRT1516 Труды Международной научной Школы-семинара, ИФТИ, Москва Протвино, 2016. С. 15–18.

- 7. Somayeh Shahrabadi, Joao M.F. Rodrigues, J.M. Hans du Buf. Detection of Indoor and Outdoor Stairs. IbPRIA 2013: Pattern Recognition and Image Analysis. 2013. P. 847–854.
- 8. Serraob M., Rodriguesa J.M.F., Rodriguesc J.I., J.M.H. du Bufa. Indoor localization and navigation for blind persons using visual landmarks and a GIS // Proceedings of the 4th International Conference on Software Development for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion (DSAI 2012). 2012. P. 65–73.
- 9. Harlan Hile and Gaetano Borriello. Information Overlay for Camera Phones in Indoor Environments. LoCA 2007: Location- and Context-Awareness. P. 68–84.
- 10. Jos´e J., J.M.H. du Buf, J.M.F. Rodrigues. Visual navigation for the blind. Path and Obstacle Detection. ICPRAM 2012 International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods. 2012. P. 515–519.
- 11. Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures // Communications of the ACM. -1972. Vol 15, no. 1. P. 11–15.

УДК 681.5.013

ПОЭТАПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Петросов Д.А., Игнатенко В.А.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», Белгород, e-mail: bigsom@mail.ru

Настоящая статья посвящена вопросам формализации и автоматизации процесса синтеза моделей систем автоматического управления технологическими процессами. Прилагается подход поэтапного построения модели, включающий такие этапы, как физическое моделирование, математическое моделирование, дискретное компьютерное моделирование и имитационное моделирование. На каждом из этапов предполагается активное взаимодействие с базой знаний с целью накопления типовых решений их последующего использования. Для синтеза моделей объектов и систем управления, а также для адаптации типовых решений предлагается применение интеллектуального структурно-параметрического синтеза, основанного на идее использования эволюционных алгоритмов как средства автоматической генерации модели в виде сети Петри. Предложенный метод реализуется в виде прикладного программного комплекса, предназначенного для автоматизации научно-исследовательских и конструкторских работ.

Ключевые слова: синтез, эволюционный алгоритм, сеть Петри, поэтапное моделирование, модель, имитационное моделирование, система управления

STEP-BY-MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WITH USE OF INTELLIGENT STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS

Petrosov D.A., Ignatenko V.A.

Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin (Belgorod SAU), Belgorod, e-mail: bigsom@mail.ru

This article is devoted to the questions of formalization and automation of the process of synthesis of models of automatic control systems for technological processes. The approach of the stage-by-stage construction of the model is included, including such stages as physical modeling, mathematical modeling, discrete computer simulation and simulation modeling. At each stage, active interaction with the knowledge base is supposed to accumulate typical solutions for their subsequent use. To synthesize models of objects and control systems, as well as to adapt standard solutions, we propose the use of an intelligent structural-parametric synthesis based on the idea of using evolutionary algorithms as a means of automatically generating a model in the form of a Petri net. The proposed method is implemented in the form of an application software package designed to automate research and development.

Keywords: synthesis, evolutionary algorithm, Petri net, phased simulation, model, simulation simulation, control system

Построение моделей технологических объектов является весьма важной задачей, так как позволяет предсказать особенности функционирования агрегатов, что способствует достижению требуемых характеристик. Моделирование подразумевает построение такого описания объекта, которое с заданной точностью будет совпадать с функционированием реального объекта.

При решении практических задач, требующих составления и последующего анализа модели, важным критерием является трудоёмкость моделирования. Вследствие этого возникает задача формализации процесса моделирования технологических процессов. На базе формализованного подхода к построению и исследованию моделей является целесообразным создание программного комплекса, автоматизирующего и упорядочивающего научно-исследовательскую и конструкторскую деятельность специалистов, занимающихся разработкой технологического оборудования и систем управления этим оборудованием.

Решение задачи моделирования технологических процессов — это типовой этап научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в технической сфере. В том случае, когда моделирование является составной частью работ над проектированием или модернизацией технологического оборудования, к нему могут быть применены стандартные методологии управления проектами, такие как PMBOK, PRINCE2, IPMA и другие [1].

Однако эти методологии не учитывают особенностей проведения научных исследований, а уделяют основное внимание общему течению бизнес-процесса. В связи с этим разработка организационных подходов к проведению научных исследований и, в частности, к моделированию технологических процессов является весьма актуальной задачей.



Рис. 1. Схема поэтапного моделирования

Для лучшего представления сущности процесса моделирования следует выделить типовые этапы, а также задачи и механизмы, используемые на них.

Большинство исследовательских работ, связанных с построением и использованием моделей технологических процессов, поддаются разделению на схожие этапы. Типовая последовательность работ подразумевает линейное прохождение следующих фаз: физическое моделирование, математическое моделирование, дискретное компьютерное моделирование, имитационное моделирование (рис. 1).

На этапе физического моделирования производится исследование интересующего технологического процесса. Для этого может быть проведён ряд экспериментов с существующим оборудованием. При отсутствии такой возможности создаются физические модели, отражающие основные закономерности изучаемых процессов.

Основной целью построения физической модели является получение статических и динамических характеристик моделируемого процесса. Таким образом, реализованная и изученная физическая модель даёт возможность формально описать

свойства изучаемого процесса, определить численные значения актуальных параметров, оценить их корреляцию и динамику изменения.

После сбора и обработки данных о функционировании физической модели наступает этап математического моделирования. В зависимости от особенностей технологического процесса и целей моделирования могут быть выбраны различные математические аппараты.

В случае прикладных разработок немаловажным фактором является трудо-ёмкость. Часто бывает целесообразным использовать заведомо менее точную методологию моделирования, однако являющуюся более простой в использовании (например, инженерный метод Зиглера и Никольса выбора параметров ПИД-регулятора [2]).

В случае моделирования схожих процессов целесообразно использование шаблонных подходов, дающих прирост скорости синтеза модели. В этом случае возникает задача хранения базы шаблонов и выбора необходимого шаблона модели по заданным критериям. Благодаря применению систем управления базами данных и базами знаний возможно создание автоматизи-

рованной системы, предлагающей на этапе математического моделирования наиболее подходящую методологию и шаблон, используя которые создаётся математическое описание исследуемого процесса.

В некоторых случаях построение математической модели может быть затруднено в связи со сложностью описания исследуемого объекта. В этом случае может быть применён подход «черного ящика», когда модель синтезируется лишь на основании накопленной статистической информации о поведении объекта. Для автоматизации этого процесса предлагается использование эволюционного алгоритма как средства направленного поиска структуры и параметров модели, адекватно описывающей полученные ранее исходные эмпирические данные.

В связи с тем, что создание средства интеллектуального синтеза, которое могло бы работать с разными математическими аппаратами, представляется затруднительным, то для упрощения предлагается использование только математического аппарата сетей Петри.

Автоматизированный структурно-параметрический синтез позволит не только создавать новые модели по исходным данным, но и уточнять (адаптировать) уже имеющиеся или упрощённые модели с целью повышения их адекватности и точности. В этом случае можно говорить о подходе «серого ящика», когда в качестве исходных данных для интеллектуального синтеза модели помимо эмпирических сведений о входных и выходных сигналах используется обобщённая или упрощённая модель исследуемого объекта.

Дискретное компьютерное моделирование стало практически, обязательным этапом процесса синтеза и анализа моделей технологических процессов. Это связано с тем, что численное моделирование по сравнению с аналитическим анализом моделей позволяет проводить исследование модели значительно быстрее, а в некоторых случаях и точнее. Кроме того, корректировка параметров и модификация структуры модели при численной компьютерной реализации происходит значительно оперативнее. В настоящее время существует ряд специализированных прикладных программных пакетов, успешно применяемых при моделировании технологических процессов. Среди них следует выделить такие программные продукты, как Matlab (подпрограммы Simulink [3], FuzzyLogicu д.р.), Mathcad [4], Pipe2 и др.

Реализация дискретной численной модели должна проводиться с учётом

особенностей перехода от математической модели к программному алгоритму. В первую очередь это связано с процессом дискретизации, который может привести не только к появлению погрешностей, но и к функциональным различиям с исходной математической моделью (например, потеря устойчивости [5]). Проверку корректности перехода от математической модели к дискретному компьютерному представлению технологического процесса можно представить в качестве типовых методик, содержащих в себе ряд формальных операций сопоставления численных и функциональных характеристик модели до и после дискретизации. Процесс применения этих методик также подлежит автоматизации благодаря использованию программных средств поддержки научных исследований.

Этап имитационного моделирования связан с исследованием свойств реализованной на предыдущем этапе дискретной компьютерной модели. Применение статистических и аналитических инструментов обработки результатов численных экспериментов, а также их планирования позволяет получить не только отдельные численные результаты функционирования модели технологического процесса для единичных выборок исходных условий, но и выявить качественные особенности поведения моделируемых систем и объектов, обладающих схожими характеристиками.

Имитационное моделирование, как правило, включает в себя итеративный процесс запуска дискретной компьютерной модели с различными наборами исходных данных. Полученные результаты подлежат дальнейшей обработке для выявления функциональных зависимостей и обобщения результатов.

В качестве примера использования поэтапного моделирования приводится процесс изучения работы трубной шаровой мельницы с целью создания системы автоматического управления [6].

Этот технологический агрегат представляет собой сложную систему, которая состоит из вращающегося корпуса с внутрикорпусными элементами, мелющих тел и непосредственно частиц измельчаемого материала.

На первом этапе проводилось физическое моделирование, которое заключалось в наблюдении за процессом помола в промышленных и лабораторных установках. Анализ численных и функциональных характеристик процесса помола, полученных для технологических установок в различных режимах работы, позволил выявить ос-

новные процессы, протекающие в данном технологическом агрегате, и выделить основные характеристики агрегата, оказывающие наибольшее влияние на технологический процесс.

Для проведения математического моделирования выбранного объекта следует выбрать соответствующий математический аппарат. Так как целью исследования является синтез модели системы автоматического управления технологическим агрегатом, то в качестве основного инструментального средства выбирается сеть Петри. Согласно предлагаемому подходу на данном этапе производится поиск наиболее уже решённых научно-технических задач, из которых могут быть заимствованы актуальные в контексте решаемой задачи модели, функциональные зависимости и статистические данные. Исходя из исследования трубной шаровой мельницы как объекта управления будет применена передаточная функция по каналу управления (подача материала - загрузка мельницы) в виде апериодического звена с запаздыванием:

$$W(s) = \frac{K}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}.$$
 (*)

Так как моделирование предполагает работу с аналоговой информацией, то для описания системы автоматического управления будет использована модификация сети Петри – информационная сеть Петри (ИСП).

Для упрощения процесса составления модели производится поэтапное моделирование отдельных элементов системы. Упрощённую динамическую модель (рис. 2), соответствующую передаточной функции (*), можно составить из трёх отдельных блоков, реализующих простейшие функции:

- 1. Блок, реализующий динамику апериодической функции;
- 2. Блок, реализующий функцию запаздывания распространения сигнала;
- 3. Блок, реализующий функцию масштабирования.

Приведённая модель имеет два входа: In1— вход модели, на который подаётся информация о подаче материала, In2 — вход масштабирующего блока, позволяющего настраивать диапазон изменения выходного сигнала. Выход модели Out1 передаёт информацию о текущей загрузке шаровой мельницы. В соответствии с принципами работы ИСП выходной сигнал нормирован в диапазоне [0; 1].

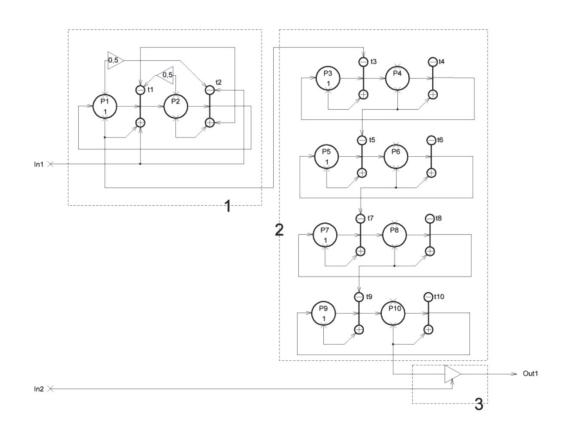


Рис. 2. Динамическая модель трубной шаровой мельницы

Для уточнения модели применяется автоматизированный структурно-параметрический синтез, основная идея которого заключается в применении генетического алгоритма для адаптации исходной модели к заданным условиям [7]. В качестве исходных данных для адаптации выступают эмпирические данные, накопленные на первом этапе (физическое моделирование), и упрощённая модель, созданная на втором этапе (математическое моделирование).

Процесс адаптации может быть разделён на две чередующиеся фазы: структурный синтез и параметрический синтез. Во время фазы параметрического синтеза происходит подбор параметров модели (в данном случае происходит поиск коэффициентов усиления информационных дуг). Во время структурного синтеза модификации подлежит сетевая структура, то есть происходит изменение множеств позиций, переходов и дуг их соединяющих.

Так как в качестве инструмента автоматизированного синтеза применяется генетический алгоритм, то для уточнения исходной модели достаточно задания целевой функции, направленной на минимизацию разницы между собранными эмпирическими данными и результатами численного моделирования.

Для лучшей сходимости генетического алгоритма применяется интеллектуальная настройка параметров его работы при помощи нейронной сети, обученной на типовых ситуациях, возникающих при работе эволюционного алгоритма.

Благодаря использованию математического аппарата сетей Петри переход к третьему этапу (дискретное компьютерное моделирование) значительно упрощается. Это связано с тем, что модель, представленная в виде сетевой структуры, может быть автоматически преобразована в численную модель, предназначенную для обработки на вычислительной системе. Таким образом, адаптированная математическая модель шаровой мельницы автоматически транслируется в исполняемый алгоритм, пригодный для дальнейшего исследования.

На четвёртом этапе проводится имитационное моделирование, целью которого является выявление функциональных зависимостей между производительностью шаровой мельницы и её геометрическими размерами.

Результат этих экспериментов представляет собой набор результатов при различных исходных значениях. Используя регрессионный анализ, подбирается функциональная зависимость, удобная для дальнейшего применения в инженерных расчётах.



Рис. 3. Структура программного средства автоматизации процесса моделирования

Приведённая последовательность этапов моделирования может быть упорядочена и формализована с применением программных средств автоматизации научных исследований.

Для реализации подхода поэтапного моделирования был разработан программный продукт (рис. 3), позволяющий автоматизировать и процесс моделирования благодаря использованию средств управления исследовательской деятельностью.

Рассмотренный программный комплекс, реализующий подход поэтапного моделирования, позволяет контролировать и оценивать процесс моделирования не только по окончанию работ, но и на промежуточных стадиях. Это даёт возможность оперативного управления ходом исследовательских работ.

Применение эволюционного алгоритма для синтеза модели исследуемого объекта позволяет сократить время, затрачиваемое на разработку новой математической модели, а также упрощает адаптацию уже имеющихся математических описаний в соответствии с актуальными условиями.

Таким образом, предложенный подход поэтапного моделирования технологических процессов, включающий использование интеллектуального структурно-параметрического синтеза, позволяет упорядочить процесс научных исследований. В том случае, когда результаты этих исследований являются исходными данными для прове-

дения конструкторских работ, это особенно важно, так как позволяет ускорить общий ход выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Список литературы

- 1. Володин В.В. Основные концепции стандартизации управления проектами / В.В. Володин, А.Г. Дмитриев, В.И. Хабаров // Интернет-журнал «Науковедение». -2015. -№ 2 (27). C. 10.
- 2. Чертков А.А. Параметрическая настройка ПИДрегуляторов динамических систем средствами MatLab / А.А. Чертков, Д.С. Тормашев, С.В. Сабуров // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 5 (27). – С. 164–171
- 3. Сошкин Г.С. Применение средств моделирования среды Simulink в задачах анализа качества систем регулирования / Г.С. Сошкин, С.В. Сошкин, А.Л. Рутковский, Г.Г. Арунянц // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2013. № 4. С. 24–33.
- 4. Захарикова Е.Б. Имитационное моделирование систем и сетей массового обслуживания средствами приложения к пакету Mathcad / Е.Б. Захарикова, П.П. Макарычев // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. $2012.- N \odot 3$ (23). С. 25–35.
- 5. Ласунский А.В. О сохранении устойчивого положения равновесия при дискретизации системы / А.В. Ласунский // Труды КарНЦ РАН. -2014. -№ 4. -C. 87–92.
- 6. Шарапов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла: монография / Р.Р. Шарапов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. 270 с.
- 7. Петросов Д.А. Применение генетических алгоритмов к решению задачи параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением / Д.А. Петросов, В.А. Ломазов, В.А. Игнатенко, Е.П. Карамышев, Д.А. Басавин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2016. № 23 (244). С. 93—99.

УДК 666.3.017:535.37

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦЕРИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА $\mathbf{Y_3AL_5O_{12}}$:СЕ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

¹Полисадова Е.Ф., ²Тао Хан, ¹Олешко В.И., ¹Валиев Д.Т., ¹Ваганов В.А., ²Шонши Джанг, ³Бураченко А.Г.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: elp@tpu.ru; ²Исследовательский институт новых материалов и технологий Чунцинского университета искусства и науки, Чунцин, e-mail: danbaiht@126.com;

³Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, e-mail: bag@loi.hcei.tsc.ru

Люминофоры на основе иттрий-алюминиевого граната (ИАГ), состава $Y_3Al_5O_{12}$, активированные различной концентрацией Ce^{3+} , были синтезированы методом твердотельной реакции из порошкообразных оксидов с добавлением BaF_2 . Изучены оптические, структурные и морфологические свойства образцов. Исследовано влияние концентрации церия на люминесцентные характеристики при различных способах возбуждения излучением УФ-диапазона. Было установлено, что при возбуждении ксеноновой лампой (стационарный режим), излучением эксилампы, азотного лазера (импульсный режим) наблюдается смещение в длинноволновую область максимума спектра люминесценции. Введение иона церия в состав ИАГ приводит к увеличению интенсивности свечения в «желтой» полосе. Сувеличением концентрации церия наблюдается уменьшение интенсивности люминесценции в «синей» полосе. Показано, что полоса излучения в области 1,8–2,6 эВ (450–650 нм) имеет сложную структуру и состоит из двух элементарных полос с максимумами 2,19 \pm 0,04 эВ и 2,38 \pm 0,02 эВ. Обсуждается природа центров люминесценции.

Ключевые слова: люминофор ИАГ, ИАГ с церием, морфология, люминесцентные свойства, УФ-возбуждение, центры люминесценции, дефекты

EFFECT OF CERIUM CONCENTRATION ON LUMINESCENT PROPERTIES OF $Y_3AL_5O_1$: CE UNDER ULTRAVIOLET EXCITATION

¹Polisadova E.F., ²Tao Han, ¹Oleshko V.I., ¹Valiev D.T., ¹Vaganov V.A., ²C. Zhanga, ³Burachenko A.G.

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: elp@tpu.ru; ²Research Institute for New Materials Technology, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing, e-mail: danbaiht@126.com;

³Institute of High current electronics SB RAS, Tomsk, e-mail: bag@loi.hcei.tsc.ru

The phosphor powders of $Y_3Al_5O_{12}$ doped with different Ce^{3+} concentration were synthesized by solid state reaction method with the addition of BaF_2 . Optical, structural and morphological properties of YAG powders were studied. The effect of cerium ions on the luminescent characteristics at various types of photoexcitation by UV emission was investigated. It was found that the different positions of maximum the luminescence spectrum observed at excitation of the samples YAG and YAG:Ce powders by xenon lamp (steady-state mode), excilamp radiation and nitrogen laser (pulse mode). Introduction of the cerium ion into YAG powders increases the emission intensity in the «yellow» band ~530-570 nm. With increasing concentrations of cerium, a decrease of the luminescence intensity in the «blue» band 410 nm. It is shown that the emission band in the 1.8-2.6 eV (450-650 nm) has a complex structure and consists of two elementary bands with maxima and 2.19 ± 0.04 2.38 ± 0.02 eV.

Keywords: YAG, YAG:Ce phosphor, morphology, luminescent properties, UV-excitation, luminescence centers, defects

Использование соединений со структурой граната чрезвычайно разнообразно. Они используются в качестве лазерных материалов [1, 2], применяются в качестве твердотельных люминесцентных дозиметров и люминесцентных детекторов за счет повышенной радиационной стойкости [3, 4]. Широкое применение находят соединения со структурой граната, активированные церием в светоизлучающих диодах белого цвета свечения [5–7].

Оптические свойства иттрий-алюминиевого граната в виде монокристаллов, пленок, нанокристаллов и керамики очень широко исследованы авторами [2–9]. Од-

нако, несмотря на то, что люминофоры на основе ИАГ изучаются длительное время, механизм люминесценции и модели центров свечения в этом веществе до сих пор остаются предметом дискуссий. Поэтому актуальной остаётся задача изучения физических процессов возбуждения и релаксации центров люминесценции, процессов переноса энергии возбуждения, в совокупности определяющих квантовый выход люминофора. Исследование технологических особенностей синтеза на эффективность люминофора является необходимым с точки зрения совершенствования технологий производства.

Исследованию собственной люминесценции ИАГ люминофоров посвящён ряд работ [10–14]. Обсуждаются различные модели центров, излучающих в УФ-области. Авторы в работе [12] приписывают излучение в области 340 нм автолокализованному экситону (АЛЭ). В работе [13] авторы связывают свечение монокристаллов граната состава Y₃Al₅O₁₂ в области 300 нм с «решеточными» дефектами, а излучение основной полосы с максимумом около 550 нм связано излучательным 5d-4f-переходом в ионе Се⁺³. В работе [14] авторы связывают свечение «чистых» и активированных ионами Се³⁺ гранатов в УФ-области с антиузельными дефектами. Известно, что ионы Y^{3+} , занимающие позицию Al^{3+} , играют роль изоэлектронных примесей в структуре граната и образуют два типа центров свечения: экситоны, локализованные около антиузельного дефекта (полоса с $\lambda_{max} = 296$ nm); и излучательная рекомбинация свободных электронов с дырками, локализованными на антиузельных дефектах (полоса с $\lambda_{\text{max}} = 330 \text{ nm}$). Полоса излучения на 400 нм, по мнению [14, 15], вызвана люминесценцией F⁺ центров, локализованных возле центров типа \hat{Y}_{Al} . Как показано в работах [13,14], свечение ионов церия тесно связано с дефектами, образующимися в решетке ИАГ. Наибольшим световым выходом обладают монокристаллы ИАГ, активированные церием, выращенные методом Чохральского в атмосфере аргона и кислорода. Полосы люминесценции собственных дефектов значительно перекрываются с 4f-5d поглощением иона церия (по данным [14] максимум приходится на 347 нм), и поэтому эти дефекты включены в процесс возбуждения люминесценции церия.

Целью данной работы является исследование люминесцентных свойств образцов нанопорошков ИАГ и ИАГ:хмол %Се при воздействии УФ-излучением с различной энергией квантов с использованием для возбуждения источников с нано- и пикосекундной длительностью импульса.

Материалы и методы исследования

Образцы были синтезированы методом высокотемпературной твердотельной реакции в атмосфере азота. Исходные компоненты Al_2O_3 (99,99%), Y_2O_3 (99,99%), CeO_2 (99,99%) смешивались согласно расчётному соотношению Y3-х: Al5: xCe, (x=0,02; 0,04; 0,08 и 0,1), с добавлением 5% BaF_2 от расчетной массы. Смесь с добавлением спирта перемешивалась в течение 6 часов во вращательном устройстве. Затем образцы порошков подвергались двухстадийной сушке при 120 °C и при 800 °C в течение двух часов. Далее проводилась высокотемпературная обработка в печи при температуре 1600 °C в течение 12 часов, и затем при температуре 550 °C в течение 4 часов. По-

сле термообработки все образцы измельчались для придания гомогенности порошку.

Морфологию поверхности люминофоров исследовали с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM, Quanta 250, FEI, CIIIA) с ускоряющим напряжением 10 кВ. Для регистрации кристаллической фазы для всех образцов использовался рентгеновский дифрактометр (TD-3500, Dandong, China) с использованием излучения Си Кα1 при 30 KV и 20 мА. Спектр фотолюминесценции (PL) и спектр возбуждения (PLE) регистрировали флуоресцентным спектрофотометром (F-7000, Hitachi, Япония) с ксеноновой лампой мощностью 150 Вт при комнатной температуре. Для записи спектров поглощения использовался спектрофотометр UV-Vis-NIR серии Cary.

Для измерений люминесценции были применены два типа источников возбуждения: импульсный азотистый лазер ($\lambda_{\rm ex}=337,1$ нм, 7 нс FWHM) и УФ-импульсная эксилампа KrCl ($\lambda_{\rm ex}=222$ нм, 150 ps FWHM) [16]. Регистрация кинетики люминесценции осуществлялась фотоэлектронным умножителем ФЭУ-84-6 с использованием монохроматора МДР-3 и цифрового осциллографа TDS5052 (Tektronix). Для регистрации интегральных спектров люминесценции использовался спектрометр AvaSpec-2048, время интегрирования 2 мс.

Результаты исследования и их обсуждение

Структура и морфология

Полученные люминофоры представляют собой порошок, состоящий из микрокристаллических частиц со средним размером 1—2 мкм (рис. 1). Структура люминофора и размеров практически не изменяется от присутствия церия и представляет собой набор округлых частиц неправильной формы. Наблюдаемые дифрактограммы (рис. 2, а) показывают отсутствие фазовых превращений в образцах, полученных в данном эксперименте. Интенсивность и ширина пиков для полученных образцов не меняются при изменении концентрации ионов церия.

То есть введение церия не влияет на процессы кристаллизации в образцах. Следует отметить, что положение максимумов пиков для разных образцов может смещаться в пределах погрешности измерения дифрактометра.

Оптические свойства

Структура спектров поглощения показана на рис. 2, б. Для всех образцов характерно поглощение в области от 200 до 520 нм. Зарегистрировано наличие двух интенсивных полос поглощения с максимумами при 259 и 457 нм. Кроме того, наблюдаются полосы поглощения в области 315 и 357 нм. Для образцов ИАГ, не содержащих церий, максимум полосы поглощения в коротковолновой области смещен и приходится на 244 нм, при этом полосы на 315 и 357 нм не регистрируются.

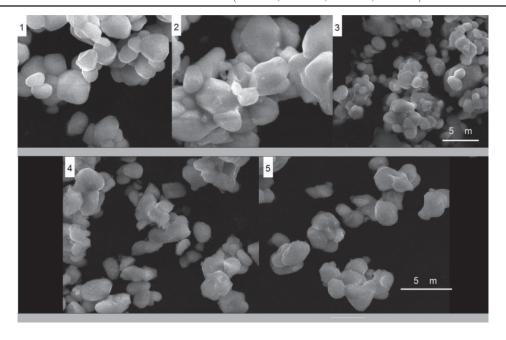


Рис. 1. Морфология образцов люминофоров состава $Y_3Al_5O_1$, активированных $Ce\ (Xwt.\ \%)$, где $X=0;\ 0,02;\ 0,04;\ 0,08;\ 0,1$

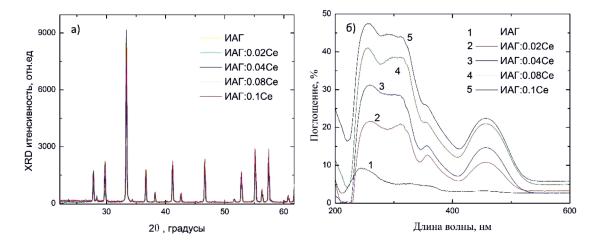


Рис. 2. Рентгеноструктурный анализ (XRD) (a) и спектры поглощения (б) люминофоров $Y_3Al_5O_{12}$: (X wt. %) Се, где $X=0;\ 0.02;\ 0.04;\ 0.08;\ 0.1$

Пик поглощения с максимумом в области 245–249 нм проявляется и в активированных, и в неактивированных образцах YAG, следовательно, ответственными за это поглощение являются собственные дефекты, образующиеся в YAG в процессе синтеза. Как известно из литературных данных [15], за поглощение в области 240 нм ответственны F-центры (кислородная вакансия, захватившая два электрона). За поглощение области 235 и 370 нм могут отвечать F⁺-центры (кислородная вакансия, захватившая один электрон). По-

лосы поглощения 360 и 480 нм связывают с поглощением F^- -центров (кислородная вакансия, захватившая три электрона). Однако такие центры в ИАГ термически не стабильны, и их существование при комнатной температуре маловероятно. То есть в синтезированных микрокристаллах неактивированного ИАГ могут присутствовать F и некоторое количество F^+ -центров, так как в области 360–370 нм регистрируются слабые пики поглощения (рис. 2). Введение церия приводит к появлению в спектре полос поглощения

на 315, 357 и 457 нм, при этом наблюдается увеличение интенсивности поглощения во всех полосах с ростом концентрации церия. Это может означать, что присутствие церия способствует образованию F и F⁺ центров, поглощающих в областях 259 и 360 нм. В работе [17] поглощение в области 450 и 340 нм приписывается переходам в ионах церия. Такие полосы мы наблюдаем в спектрах возбуждения (рис. 3, б). Однако, по нашему мнению, нет достаточных оснований связывать полосы поглощения 357 и 457 с переходами 4f—5d в ионе церия.

Пик поглощения в области 315 нм проявляется в исследованных образцах ИАГ, активированных церием. Данный пик в литературе по поглощению ИАГ не описан. Природа пика на 315 нм в спектре поглощения требует дополнительного изучения. Возможно, он связан с особенностями технологии синтеза порошков. Однако важно отметить, что в стеклообразной матрице, как было показано в работах [18], поглощение в этой области связано с переходами в ионах церия из основного 4f состояния на различные компоненты возбужденного 5d-состояния.

Люминесцентные свойства

Для полосы свечения $\lambda_{\text{max}} = 530$ nm были изучены спектры возбуждения. Как видно на рис. 3, б, в спектре возбуждения наблюдаются две полосы 342 и 452 нм. Причем данные полосы регистрируются как в образце порошка ИАГ, неактивированного церием, так и в образцах фосфора с примесью Ce^{3+} . Результаты показывают, что интенсивность данных полос суще-

ственно возрастает при введении церия в состав ИАГ.

При воздействии на образцы коротковолнового излучения с $\lambda = 342$ нм возбуждается спектр люминесценции, состоящий из двух полос – 414 нм (2,99 eV) и 530 нм (2,33 eV) (рис. 3, б – слева). Возбуждение светом с длиной волны 450 нм приводит к появлению в спектре полосы люминесценции на 533 нм (2,33 eV) (рис. 3, б – справа). Следует отметить, что такие люминесцентные свойства характерны как для «чистого» порошка ИАГ, так и для активированных церием образцов. При этом интенсивность свечения при введении церия почти на два порядка больше, чем для чистого ИАГ. Для образцов с максимальной концентрацией (0,1%) наблюдается некоторое снижение интенсивности люминесценции.

При возбуждении излучением азотного лазера с наносекундной длительностью импульса, в спектрах люминесценции образцов фосфоров, при регистрации «во временном окне», наблюдается полоса в области 460–670 нм с максимумом на 557 нм как для чистых, так и для легированных образцов, и менее интенсивная полоса с максимумом на 414 нм (рис. 4, а).

Как показывают наши результаты, соотношение интенсивностей «синей» и «желтой» полос излучения значительно зависит от концентрации введенного в образец церия. С ростом содержания церия наблюдается уменьшение амплитуды полосы 414 нм относительно полосы 557 нм.

Использование методики спектрометрии с временным разрешением позволило обнаружить следующее.

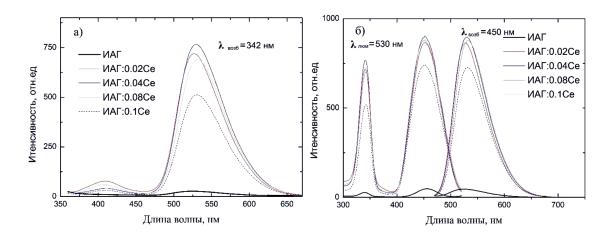


Рис. 3. Спектры фотолюминесценции при $\lambda_{_{603}}=342(a),\,\lambda_{_{603}}=450$ (a) и спектры возбуждения (б) люминофоров $Y_3Al_5O_{_{12}}$: Се (X мас. %), где $X=0;\,0,02;\,0,04;\,0,08;\,0,1$

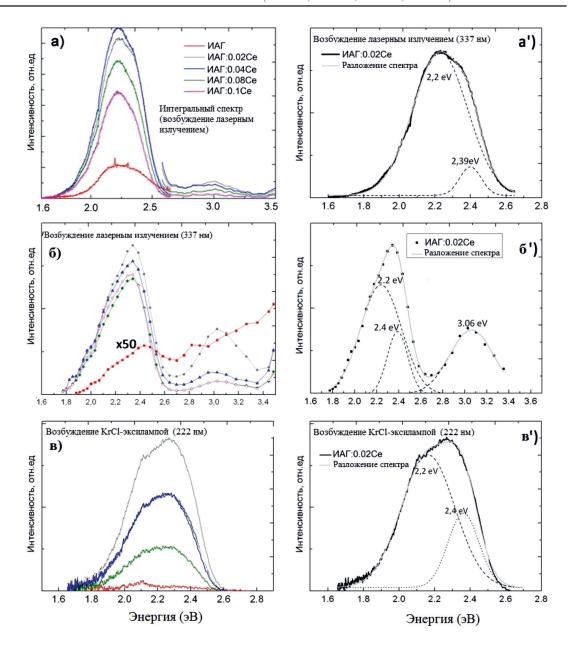


Рис. 4. Интегральные (а, в) и спектры люминесценции с временным разрешением (б) при различном типе возбуждения для люминофоров ИАГ и ИАГ: Се. Разложение спектра образца YAG:0.02Се на гаусианы (а', б', в')

В спектре люминесценции неактивированного образца ИАГ, измеренного в начальный момент после окончания возбуждения, наблюдается широкая полоса в области 440–570 нм с максимумом в области 510 нм (2,43 эВ). В области 3,54–2,75 эВ (350–450 нм) наблюдается рост интенсивности в коротковолновую (высокоэнергетическую) область. Интенсивность свечения данного образца на несколько порядков слабее, чем свечение ИАГ:Се. В спектрах люминесценции образцов ИАГ:Се наблюда-

ются две полосы свечения с максимумами интенсивности 414 и 530 нм. Соотношение интенсивностей данных полос зависит от концентрации церия, наибольшая интенсивность для полосы на 414 нм характерна для образца с концентрацией церия 0,02%, (рис. 4, б).

Использование дальнего УФ-излучения для возбуждения люминесценции ИАГ (излучение эксилампы) позволило обнаружить следующие результаты. В спектре люминесценции неактивированного ИАГ

регистрируется широкая полоса, максимум ее интенсивности приходится на 590 нм. В спектрах образцов фосфора, активированного церием при таких условиях возбуждения мы наблюдаем полосу люминесценции с максимумом на 545 нм и дополнительным пиком на 585 нм (рис. 4, в). Концентрация ионов церия не влияет на форму спектра люминесценции.

Была исследована кинетика затухания люминесценции порошков ИАГ при возбуждении импульсом лазера.

Как было установлено, кинетика люминесценции значительно различается в области 370—450 нм и 450—700 нм. В «синей» области спектра свечение коротковременное, в кинетике регистрируются две компоненты с длительностью затухания $\tau_1 \sim 12$ —15 нс, $\tau_2 \approx$ 40 нс (рис. 5, a).

возникает люминесценция, спектр которой состоит из одной или двух полос. Как правило, полоса несимметрична, положение максимума амплитуды меняется от 530 до 560 нм, и в структуре полосы наблюдаются два пика. Разложение спектра на гауссианы показывает, что во всех зарегистрированных спектрах в основной «желтой» полосе свечения можно выделить две составляющих с максимумами на $2,19 \pm 0,04$ и $2,38 \pm 0,02$ эВ. (рис. 4, а', б', в'). Соотношение интенсивностей данных полос различается при разных способах возбуждения люминесценции. Изменение соотношения амплитуд приводит к смещению положения максимума интенсивности в спектрах свечения образцов.

Интенсивность полос свечения при регистрации спектра «во временном окне»,

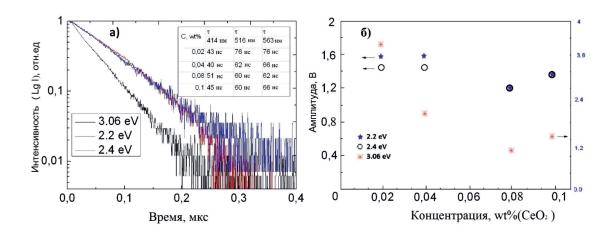


Рис. 5. Кинетика затухания импульсной фотолюминесценции возбужденного азотного лазера (337,1 нм) для YAG: Ce (0,02 wt.%) (a); амплитуда интенсивностей (б) в полосах 2,2, 2,4 и 3,06 эВ. Вставка – время затухания для образцов YAG: Ce

По данным [19] в полосе 3,0 eV при возбуждении 266 nm лазерным импульсом нанокристаллы ИАГ:Се, регистрируются две компоненты в кинетике затухания люминесценции с временами жизни $\tau_1 \approx 4 \pm 3$ ns and $\tau_2 \approx 17 \pm 5$ ns.

В спектральном диапазоне (1,8–2,6 eV) люминесценция затухает по закону близкому к экспоненциальному, с постоянной времени ~60–70 нс. На рис. 5 представлены кинетики в области 516 (2,4eV) и 563 (2,2 eV) нм. Нам не удалось обнаружить существенных различий в кинетике затухания в различных спектральных участках основной полосы люминесценции.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что, во-первых, при возбуждении образцов порошков ИАГ, активированного церием, потоком фотонов различных энергий,

либо в стационарном режиме (рис. 4 а, в), для образцов с концентрацией церия 0,02—0,08 меняется незначительно (возможно, в пределах ошибки измерений). В наших экспериментах не наблюдается четкой зависимости I в максимуме полосы от концентрации Се. Однако уменьшение интенсивности для образца с концентрацией 0,1% меньше относительно других образцов во всех экспериментах. Видимо, в этом случае для образования эффективных центров свечения может играть роль соотношение количества вакансий и ионов церия.

Мы измерили амплитуду вспышки свечения в спектральных областях 516 и 563 нм при лазерном возбуждении для всех синтезированных образцов с изменяющейся концентрацией церия при идентичных условиях. Как показано на рис. 5, б, интенсивность

свечения в полосах 516 и 563 нм, измеренная в начальный момент времени после возбуждения, слабо зависит от количества церия в исследованном диапазоне концентраций. Таким образом, прямой зависимости между количеством ионов церия и интенсивностью люминесценции не наблюдается. Как было установлено, амплитуда вспышки в полосе 3.06 eV уменьшается с введением церия (рис. 5, б). Свечение в этой области в кристаллах ИАГ связывают с F+-центрами [15, 20]. С данными центрами также связана полоса поглощения 370 нм. Такие центры, как правило, образуются в кристаллах при дефиците Al₂O₂ (или избытке Y₂O₂). Как можно видеть, при воздействии излучением эксилампы наиболее эффективно возбуждается излучение в области 2,16 эВ. Также следует отметить, что при таком способе в спектре не было зарегистрировано свечение в области 400 нм. Это может быть связано с тем, что при УФ-воздействии может наблюдаться преобразование F и F⁺-центров вследствие их ионизации, как это происходит в сапфире [21]. При возбуждении светом с длиной волны 342 нм наиболее эффективно возбуждается свечение в области 2,36 эВ (530 нм). Это приводит к изменению соотношения интенсивностей, составляющих 2,19 и 2,38 эВ и, соответственно, к изменению максимума полосы при различных типах воздействия.

Заключение

Были изучены оптические, структурные и морфологические свойства образцов порошков ИАГ, синтезированных твердофазным способом. Исследовано влияние церия на люминесцентные характеристики при различных способах фотовозбуждения. Смещение положения максимума полосы свечения происходит при изменении условий возбуждения (энергии квантов, длительности импульса возбуждения). Введение иона церия в состав ИАГ приводит к увеличению интенсивности свечения в «желтой» полосе в области 530-570 нм. С увеличением концентрации церия наблюдается уменьшение интенсивности люминесценции в «синей» полосе 414 нм. Показано, что полоса излучения в области 450-650 нм имеет сложную структуру и состоит из двух элементарных полос с максимумами $2,19 \pm 0,04$ и $2,38 \pm 0,02$ эВ. Эффективность люминесценции каждой из этих полос зависит от условий возбуждения. Обнаружено, что спектральные характеристики чистых и активированных образцов порошков ИАГ идентичны. Показано, что центры, излучающие в области 450-650 нм, присутствуют в чистых образцах ИАГ и введение церия способствует их образованию. Сделано предположение, что природа данного свечения обусловлена собственными дефектами, стабилизированными ионами церия. С ростом количества церия наблюдается уменьшение интенсивности свечения F⁺-центров, поэтому, возможно, образование таких дефектов связано с преобразованием F⁺-центров в сложные комплексные дефек-

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 17-13-01233.

Список литературы

- 1. Ikesue A., Aung Y.L. Ceramic laser materials, Nature photonics, 2 (2008) 721–727.
- 2. Kostica S., Lazarevica Z.Z., Radojevicb V., et al Study of structural and optical properties of YAG and Nd: YAG single crystals, Mater. Res. Bull. 63 (2015) 80–87.
- 3. Osipov V.V., Ishchenko A.V., Shitov V.A. et al Fabrication, optical and scintillation properties of transparent YAG:Ce ceramics, Opt. Mater. 71 (2016) 45-49.
- 4. Kamada K., Yanagida T., Pejchal J., Nikl M. et Scintillator-oriented combinatorial search in Ce-doped (Y,Gd),(Ga,Al),O₁, multicomponent garnet compounds, J. Phys. D: Appl. Phys. 44 (2011)1–8.
- 5. Kottaisamy M., Thiyagarajan P., Mishra J., Ramachandra M.S. Rao Color tuning of Y,Al,O,:Ce phosphor and their blend for white LEDs, Mater. Res. Bull. 43 (2008) 1657–1663.
 6. Ye S., Xiao F., Pan Y.X., Ma Y.Y., Zhang Q.Y. Phosphors in phosphor-converted white light-emitting diodes: Recent ad-
- vances in materials, techniques and properties, Mater. Sci. and Engin. R 71 (2010) 1-34.
- 7. Nishiura S., Tanabe S., Fujioka K., Fujimoto Y. Properties of transparent Ce: YAG ceramic phosphors for white LED, Opt. Mater. 33 (2011) 688-691.
- 8. Zhiguo X., Meijerink A. Ce³⁺ -Doped garnet phosphors: composition modification, luminescence properties and applications, Chem. Soc. Rev. Review article, (2016) 1-27
- 9. Zorenko Yu., Voznyak T., Gorbenko V. et al Lumines-cence properties of Y₃Al₅O₁₂:Ce nanoceramics, J. Lumin. 131 (2011) 17-21
- 10. Varney C.R., Mackay D.T., Pratt A., Reda S.M., Selim F.A. Energy levels of exciton traps in yttrium aluminum garnet single crystals, J. of App. Phys. 111 (2012) 063505.
- 11. Vakhidov Sh.A., Rakov A.F. Radiation stimulated recombination processes in $Y_3Al_5O_{12}$ crystals, Phys. Stat. Sol. (a). 80 (1983) 175–178.
- 12. Wong C.M., Rotman S.R., Warde C. Optical studies of cerium doped yttrium aluminum garnet single crystals, App. Phys. Lett. 44 (1984) 1038-1040.
- 13. Zorenko Yu., Zych E., Voloshinovskii A. Intrinsic and Ce³⁺-related luminescence of YAG and YAG:Ce single crystals, single crystalline films and nanopowders, Opt. Mater. 31 (2009) 1845–1848.
- 14. Zorenko Yu.V., Savchin V.P., Gorbenko V.I. et al Luminescence and scintillation properties of Y₃Al₂O₁,:Ce single crystals and single-crystal films, Phys. of the Solid State 53 (2011)
- 15. Pujats A., Springis M. The F-type centres in YAG crystals, Rad. Effects and Defects in Solids 155 (2001) 65–69.
- 16. Tarasenko V.F., Sosnin E.A. Barrier-discharge excilamps: History, operating principle, prospects, J. of Opt. Tech. 79 (2012) 653–658
- 17. Pankratov V., Shirmane L. et al Peculiarities of luminescent properties of cerium doped YAG transparent nanoceramics, Rad. Measur. 45 (2010) 392–394.
- 18. Valiev D.T., Polisadova E.F., Stepanov S.A., Belikov K.N. et al. Luminescence spectroscopy of scintillating glasses doped with Tb³+/Ce³+ with different concentrations of cerium under photo-and electron excitation, J. Lumin. 162 (2015) 128–133.
- 19. Pankratov V., Grigorjeva L., Millers D., Chudoba T. Luminescence of cerium doped YAG nanopowders, Rad. Measur. 42 (2007) 679-682
- 20. Springis M., Pujats A., Valbis J. Polarization of luminescence of color centers in YAG crystals, J. Phys.: Condens. Matter 3 (1991) 5457.
- 21. Vallayer J., Jardin C., Treheux D. Optical and dielectric behaviors of alumina after an electromagnetic irradiation, Opt. Mater. 16 (2001) 329-333.

УДК 519.65:517.9

СВЯЗЬ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И ПРИБЛИЖЕНИЕ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЦЕПНЫМИ ДРОБЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

¹Рагимханова Г.С., ²Кулиева Д.Р., ³Рагимханова А.Р., ¹Гаджиева З.Д.

¹ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный педагогический университет», Махачкала, e-mail: gulnara 6789@mail.ru;

²Министерство экономики и территориального развития Республики Дагестан, Махачкала; ³ΦΓБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала

Рассмотрена связь между решениями общего уравнения Д. Риккати, линейного уравнения второго порядка и системы дифференциальных уравнений. Рассмотрена также задача Коши, решением которой является тригонометрическая функция tg х. Представлен листинг программы, разработанной в среде Delphi, для нахождения значений тригонометрической функции tg х, используя цепные дроби, и приведены приближенные значения этой функции с точностью до 15-ого знака. Результаты, полученные в данной статье, могут использоваться в исследованиях, которые связаны с разложениями функций в цепные дроби, а также при численном решении дифференциальных уравнений, где вопросы, связанные со скоростью сходимости, играют важную роль. Полученные результаты могут представлять интерес для специалистов по математическому анализу, дифференциальным уравнениям, специальным функциям математической физики и их приложениям, а также они могут быть применены при численном анализе задач.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, цепная дробь, приближение

THE RELATIONSHIP OF THE SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF VARIOUS TYPES AND APPROXIMATION OF SOLUTIONS TO DIFFERENTIAL EQUATIONS CONTINUED FRACTIONS WITH THE USE OF THE PROGRAMMING ENVIRONMENT

¹Ragimkhanova G.S., ²Kulieva D.R., ³Ragimkhanova A.R., ¹Gadzhieva Z.D.

¹Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, e-mail: gulnara_6789@mail.ru; ²The Ministry of Economy and Territorial Development of the Republic of Dagestan, Makhachkala; ³Dagestan State University, Makhachkala

The relation between the solutions of the general equation Riccati D., linear equation of second order and systems of differential equations. Also considered the Cauchy problem, the solution of which is a trigonometric function tg x. The listing of the program developed in the Delphi environment, for finding the values of trigonometric function tg x using chain fractions, and given approximate values of this function up to 15-th sign. The results obtained in this article can be used in studies that are associated with expansions of functions into continued fractions, as well as in the numerical solution of differential equations, where the issues related to the convergence rate, play an important role. The results obtained may be of interest to specialists in mathematical analysis, differential equations, special functions of mathematical physics and their applications, and they can be applied to numerical analysis of problems.

Keywords: differential equations, a continued fraction, approximation

Нахождение оптимального алгоритма, т.е. такого, при выполнении которого потребуется наименьшее количество арифметических действий или наименьшее машинное время, является одной из актуальных проблем теории алгоритмов. Практически во всех наиболее часто используемых математических моделях природных явлений так или иначе используются дифференциальные уравнения. Поэтому поиск таких алгоритмов, которые позволяют аппроксимировать решения задач теории дифференциальных уравнений за счет выполнения наименьшего количества арифметических действий, является актуальной проблемой [1, с. 6-7].

Целью данной статьи является использование цепных дробей в качестве аппарата приближения [2].

- I. Рассмотрим:
- 1. Общее уравнение Д. Риккати

$$y' = R(x)y^2 + Q(x)y + P(x).$$
 (1)

2. Линейное уравнение второго порядка

$$P_0(x)u'' + P_1(x)u' + P_2(x)u = 0. (2)$$

3. Систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \varphi' = a(x)\varphi + b(x)\psi \\ \psi' = c(x)\varphi - a(x)\psi \end{cases}$$
(3)

В (1)–(3) R, Q, P, P₀, P₁, P₂, a, b, c – известные, непрерывные на некотором отрезке [a, b], функции; $y(x), u(x), \phi(x), \psi(x)$ – неизвестные функции [3].

Между решениями уравнений (1)–(3) существует связь, устанавливаемая следующими утверждениями.

Теорема 1. Если y – решение уравнения (1), то $u = \exp(-\int Ry dx)$ будет решением урав-

Доказательство. Так как

$$u' = -Ry \exp(-\int Ry dx)$$
, $u'' = (RQy + R'y + Ry) \exp(-\int Ry dx)$,

то

$$P_{0}u'' + P_{1}u' + P_{2}u = \left[P_{0}(RQy + yR' + RP) - P_{1}Ry + P_{2}\right] \exp(-\int Rydx) =$$

$$= \left[(P_{0}RQ - P_{0}R' - P_{1}R)y + P_{0}RP + P_{2}\right] \exp(-\int Rydx).$$

Последнее выражение равно нулю если подобрать P_0, P_1, P_2 так, чтобы

$$P_1 = \left(\frac{R'}{R} + Q\right) P_0, \ P_2 = RPP_0.$$

Теорема 2. Если u – решение уравнения (2), то $y = \frac{u'}{u}$ будет решением уравнения (1). Доказательство. Имеем

$$y' = \frac{u''u - u'^2}{u^2} = \frac{u''}{u} - \left(\frac{u'}{u}\right)^2$$
.

Поэтому

$$y' - Ry^{2} - Qy - P = \frac{u''}{u} - \left(\frac{u'}{u}\right)^{2} - R\left(\frac{u'}{u}\right)^{2} - Q\frac{u'}{u} - P = \frac{1}{u^{2}}\left[u\left(u'' - Qu' - Pu\right) - u'^{2\$}\left(R + 1\right)\right].$$

Последнее выражение равно нулю, если подобрать R, Q, P из условий

$$R = -1, \ Q = -\frac{P_1}{P_0}, \ P = -\frac{P_2}{P_0}$$

 $R=-1,\; Q=-rac{P_1}{P_0},\; P=-rac{P_2}{P_0}$. **Теорема 3.** Если пара $(\phi,\,\psi)$ – решение системы (3), то $y=rac{\phi}{\psi}$ будет решением уравне-

Доказательство. Имеем

$$y' = \frac{\varphi'\psi - \psi'\varphi}{\psi^2} = \frac{1}{\psi}(a\varphi + b\psi) - \frac{\varphi}{\psi^2}(c\varphi - a\psi) = -c\left(\frac{\varphi}{\psi}\right)^2 + 2a\frac{\varphi}{\psi} + b = -cy^2 + 2ay + b$$

т.е. y есть решение уравнения (1), где R = -c, Q = 2a, P = b.

Теорема 4. Если y — решение уравнения (1) и $z = \exp(\int (cy - a) dx)$, то пара $\phi = yz$, $\psi = y$ будет решением системы (3).

Доказательство. Имеем

$$y' = Ry^2 + Qy + P$$
, $z' = (cy - a) \exp(\int (cy - a) dx)$.

Так как

$$a\varphi + b\psi = y'z + z'y$$
, $c\varphi - a\psi = y'$,

ТО

$$a\phi + b\psi = (Ry^{2} + Qy + P + cy^{2} - ay) \exp(\int (cy - a) dx) =$$

$$= [(R + c)y^{2} + (Q - a)y + P] \exp(\int (cy - a) dx)^{def} = (1),$$

$$c\phi - a\psi = Ry^{2} + Qy + P = (2).$$

Решая последнюю систему уравнений относительно ф и ψ, получим

$$\varphi = \frac{1}{a^2 + bc} \left(a(1) + b(2) \right),$$

$$\psi = \frac{1}{a^2 + bc} (c(1) - a(2))$$
.

II. Рассмотрим в этом пункте задачу

Коши

$$y' = 1 + y^2$$
, $y(0) = 0$,

решением которой является тригонометрическая функция y = tgx [4]. Для нахождения значений тригонометрической функции y = tgx воспользуемся разложением функции в цепную дробь

$$tg z = \frac{z}{1-} \quad \frac{z^2}{3-} \quad \frac{z^2}{5-} \dots \frac{z^2}{-2n-1-} \dots$$

для комплексных $z \neq (2k+1)\frac{\pi}{2}$, k – целое [5].

Ниже приводится код программы в среде Delphi для нахождения значений тригонометрической функции tgx и, приведены значения данной функции с точностью до 15-го знака по указанной формуле при помощи подходящих дробей $f_3,...,f_8$ для x=0,1;0,2;...;1 $f_n=\frac{P_n}{O_n}$, с использованием FR-алгоритма (прямого рекуррентного алгоритма). Этот алгоритм заключается в применении рекуррентных формул $P_n = b_n P_{n-1} + a_n P_{n-2},$ $Q_n = b_n Q_{n-1} + a_n Q_{n-2},$ $P_0 = b_0, Q_0 = 1,$ $P_{-1} = 1, Q_{-1} = 0$. При этом мы получаем значения $P_1, ..., P_{n-1}, Q_1, ..., Q_n$ и, совершив еще n-1 делений, мы получаем значения $f_1, ..., f_{n-1}$. Общее число арифметических операций для нахождения f_n — 4n умножений, \hat{n} сложений и одно деление.

При использовании FR-алгоритма трудность состоит в том, что даже если последовательность $\{f_n\}$ будет сходиться к конечному пределу, последовательности числителей $\{P_n\}$ и знаменателей $\{Q_n\}$ подходящих дробей могут одновременно стремиться к 0 или $\kappa \infty$, что требует время от времени выполнять перемасштабирование, чтобы не было машинного переполнения или исчезновения порядка [1].

$$P_0 = 0$$
, $Q_0 = 1$, $\frac{P_1}{Q_1} = \frac{x}{1}$,
$$\begin{cases} P_n = (2n-1)P_{n-1} - x^2P_{n-2} \\ Q_n = (2n-1)Q_{n-1} - x^2Q_{n-2} \end{cases}$$
 при $n \ge 2$,
$$tg(x) = \frac{x}{1-3} \frac{x^2}{3- \dots \frac{x^2}{-(2n-1)-}} \dots$$

III. Создание программы в среде Delphi. Процесс конструирования формы:

 для Form1 меняем значение в свойстве Caption на tg x;

- устанавливаем на форму компонент Panell со страницы Standard (удаляем значение в свойстве Caption для этого компонента, в свойстве Align выбираем значение alclient, меняем значение в свойстве Name для этого компонента на Р1);

 устанавливаем на форму компоненты Label1 и Label2 со страницы Standard (меняем в свойстве Caption значение для этих компонент на Таблица результатов и Таблица погрешностей соответственно, в свойстве Font выбираем атрибуты шрифта: стиль – полужирный курсив, размер – 24, меняем значение в свойстве Name для этих компонент на L1 и L2 соответственно);

 устанавливаем на форму компоненты StringGrid1 и StringGrid2 со страницы Additional (меняем в свойствах ColCount и RowCount значения для этих компонент на 7 и 11 соответственно, меняем значение в свойстве Name для этих компонент на q1 и q2 соответственно);

- устанавливаем на форму компонент BitBtn1 со страницы Additional (меняем в свойстве Caption значение для этого компонента на Расчет, в свойстве Font выбираем атрибуты шрифта: стиль – полужирный курсив, размер – 24, меняем значение в свойстве Name для этого компонента на B1).

Код программы в среде Delphi имеет вид

unit fun;

{определяет внешнюю видимость этого модуля}

interface

{использование модулей}

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,

Dialogs, Grids, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

{объявление объектов}

ÎForm1 = class(TForm)

P1: TPanel;

```
q1: TStringGrid;
q2: TStringGrid;
B1: TBitBtn;
  L1: TLabel;
  L2: TLabel;
  procedure P1Click(Sender: TObject);
  procedure B1Click(Sender: TObject);
 private
  { Private declarations }
{описанные в этой секции элементы недоступны извне (за пределами класса)}
   { Public declarations }
{описанные в этой секции элементы доступны всем}
 end;
var
 Form1: TForm1;
implementation {осуществляет интерфейс этого модуля}
{$\hat{R} *.dfm}
                 {включить определения формы}
{обработчик события onClick для компонента P1}
procedure TForm1.P1Click(Sender: TObject);
var h:integer;
   x:real;
begin
{заполнение 1-го столбца таблицы результатов и таблицы погрешностей}
q1.Cells[0,0]:='N='
q2.Cells[0,0]:='N=';
\hat{x} = 0.1;
for h:=1 to 10 do
               begin
               q1.Cells[0,h]:='x='+floattostr(x);
               q2.Cells[0,h]:='x='+floattostr(x);
               \hat{x} = x + 0.1;
               end;
{заполнение 1-й строки таблицы результатов и таблицы погрешностей}
for h:=1 to 6 do
               q1.Cells[h,0]:=floattostr(h+2);
               q^2.Cells[h,0]:=floattostr(h+2);
               end;
end;
{обработчик события onClick для компонента В1 (заполнение таблицы результатов и та-
блицы погрешностей)}
procedure TForm1.B1Click(Sender: TObject);
Var z:array[1..10,1..10] of real;
       y,b,r:real;
       m,h,l,t:integer;
Begin
for t:=1 to 6 do
               begin
               for 1:=1 to 10 do
                               begin
                               v = 1*0.1;
                               for m:=3 to 8 do
                                              begin
                                              h=m;
                                              r = 0;
```

```
b:=y*y/(2*m-1);
                                                h:=h-1;
                                                while h>0 do
                                                             begin
                                                             r:=y*y/(2*h-1-b);
                                                             b := r;
                                                             h = h-1;
                                                            end;
                                               r:=r/y;
                                               z[l,n] := abs(r-sin(y)/cos(y));
                                               q1.Cells[t,1]:=Format ('%e', [r]);
                                 end;
                                for 1:=1 to 10 do
                                                  begin
                                                  for m:=3 to 8 do
                                                  q2.Cells[t,1]:=Format ('%e', [z[1,m]]);
                                                  end;
              end;
end;
end. [6]
```

N=	3	4	5	6	7	8
x=0,1	1,00334672085451E-001	1,00334672085451E-001	1,00334672085451E-001	1,00334672085451E-001	1,00334672085451E-001	1,00334672085451E-001
x=0,2	2,02710035508673E-001	2,02710035508673E-001	2,02710035508673E-001	2,02710035508673E-001	2,02710035508673E-001	2,02710035508673E-001
x=0,3	3,09336249609623E-001	3,09336249609623E-001	3,09336249609623E-001	3,09336249609623E-001	3,09336249609623E-001	3,09336249609623E-001
x=0,4	4,22793218738162E-001	4,22793218738162E-001	4,22793218738162E-001	4,22793218738162E-001	4,22793218738162E-001	4,22793218738162E-001
x=0,5	5,46302489843790E-001	5,46302489843790E-001	5,46302489843790E-001	5,46302489843790E-001	5,46302489843790E-001	5,46302489843790E-001
x=0,6	6,84136808341692E-001	6,84136808341692E-001	6,84136808341692E-001	6,84136808341692E-001	6,84136808341692E-001	6,84136808341692E-001
x=0,7	8,42288380463079E-001	8,42288380463079E-001	8,42288380463079E-001	8,42288380463079E-001	8,42288380463079E-001	8,42288380463079E-001
8,0=x	1,02963855705036E+000	1,02963855705036E+000	1,02963855705036E+000	1,02963855705036E+000	1,02963855705036E+000	1,02963855705036E+000
x=0,9	1,26015821755033E+000	1,26015821755033E+000	1,26015821755033E+000	1,26015821755033E+000	1,26015821755033E+000	1,26015821755033E+000
-			1,55740772465486E+000	1.55740772465486E+000	1.55740772465486E+000	1,55740772465486E+000
	1.55740772465486E+000 блииа погрешно	1,55740772465486E+000	1,337407724634662+000	1,3374077246346624000	1,33140112403402.000	1,0014011240002400
Ta	1,55740772465486E+000 блица погрешнос		1,337407724634662+000	6	7	8
Tac	блица погрешнос	стей				
<i>Tac</i> N= x=0,1	блица погрешнос	: тей	5	6	7	8
Tac N= x=0,1 x=0,2	блица погрешнос 3 1.50433051432364E-018	етей 4 1.50433051432364E-018	5 1.50433051432364E-018	6 1,50433051432364E-018	7 1.50433051432364E-018	8 1,50433051432364E-018
N= x=0,1 x=0,2 x=0,3	блица погрешнос 3 1.50438051432364E-018 8.75493254282045E-018	**************************************	5 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018	6 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018	8 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018
Tac N= x=0,1 x=0,2 x=0,3 x=0,4	5.7144.a nozpeunhoc 3 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017	4 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017	5 1.50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845290725075E-017	6 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017	8 1.50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2.74845250725075E-017
Tac N= x=0,1 x=0,2 x=0,3 x=0,4 x=0,5	3 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845250725075E-017 8,02309607639273E-018	4 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018	5 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845250725075E-017 8,02309607639273E-018	6 1.50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8,02303607639273E-018	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018	8 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018
Tac N= x=0,1 x=0,2 x=0,3 x=0,4 x=0,5 x=0,6	57.1114.a nozpeuthoc 3 1.5043305143294E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017	1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017	5 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74945250725075E-017 8,02309607639273E-018 2,91108283312358E-017	6 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74645250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017	8 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-019 2.91108283312368E-017
Tac =0.1 =0.2 =0.3 =0.4 =0.5 =0.6 =0.7	57.1114.0 NO2PEUHOC 3 1.5043305143294E-018 8.75433254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017	4 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017	5 1.50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8,02309607639273E-018 2,91108283312358E-017 4,18502038579405E-017	6 1.50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8,02309607633273E-018 2,91108283312358E-017 4,18502038573405E-017	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017	8 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312368E-017 4.18502038579405E-017
N= x=0,1 x=0,2 x=0,3 x=0,4 x=0,5 x=0,6 x=0,7 x=0,8 x=0,9	3 1.50433051432364E-018 8.75433254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017 7.18826040357889E-017	4 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017 7.18826040357889E-017	5 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845250725075E-017 8,02309607639273E-018 2,91108283312358E-017 4,18502038579405E-017 7,18826040357889E-017	6 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845250725075E-017 8,02309607639273E-018 2,91108283312358E-017 4,18502038573405E-017 7,18826040357899E-017	7 1.50433051432364E-018 8.75493254282045E-018 2.74845250725075E-017 8.02309607639273E-018 2.91108283312358E-017 4.18502038579405E-017 7.18826040357889E-017	8 1,50433051432364E-018 8,75493254282045E-018 2,74845250725075E-017 8,02309607639273E-018 2,91108283312358E-017 4,18502038579405E-017 7,18826040357889E-017

Скриншот окна формы в среде Delphi

Заключение

Исходя из полученных выше результатов видно, что цепные дроби являются наилучшим аппаратом приближения. Таким образом, приближение подходящими дробями дает большую точность.

Список литературы

1. Яралиева Б.С. Использование цепных дробей для решений дифференциальных уравнений и оценки адекватности математических моделей динамических систем: дис. ... канд.техн.наук. – Махачкала, 2013. – 86 с.

- 2. Хованский А.Н. Приложение цепных дробей и их обобщений к вопросам приближенного анализа / А.Н. Хованский. М.: ГИИТТЛ, 1956. 203 с.
- 3. Агаханова Б.С. Оценка погрешности аппроксимации цепными дробями / Б.С. Агаханова, Н.Ш. Загиров // Вестник ДГУ. -2011. № 6. С. 111-114.
- 4. Агаханова Б.С. Скорость сходимости цепных дробей / Б.С. Агаханова, Э.С. Давудова, Н.Ш. Загиров // Вестник ДГУ. 2011. № 6. С. 115–119.
- 5. Рагимханова Г.С. Скорость сходимости некоторых цепных дробей и их приложения: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2003. 78 с.
- 6. Осипов Д.Л. Delphi 7. Программирование Windows, OS X, iOS и Android / Д.Л. Осипов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 464 с.

УДК 621.22/.577:697.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Родионов Н.Г., Коротков В.В., Шитохина О.Г., Герасимова Н.С.

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: k2kf@yandex.ru

В представленной статье исследуются вопросы применения законодательно разрешённых хладагентов для создания теплонасосных установок (ТНУ). Во введении отмечается, что потенциал и масштабы энергосбережения в России с помощью ТНУ огромны. И их необходимо рационально использовать, вызвав интерес у бизнеса и потребителей, при соответствующем стимулировании и поддержке государства. В статье приводится сопоставление эффективности циклов тепловых насосов с различными рабочими телами при одинаковых условиях сравнения. Показаны преимущества систем отопления помещений с тёплыми полами в сравнении с традиционными отопительными системами (с радиаторами отопления). Коэффициент трансформации теплоты при этом принципе отопления увеличивается более чем в 2 раза, почти в 3 раза уменьшается требуемая мощность для привода компрессора.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловой насос, отопление и горячее водоснабжение зданий

A STUDY OF THE THERMODYNAMICS CHARACTERISTICS OF HEAT PUMPING UNITS FOR HEAT SUPPLY OF RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL BUILDINGS AND STRUCTURES IN MODERN CONDITIONS

Rodionov N.G., Korotkov V.V., Shitokhina O.G., Gerasimova N.S.

Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, e-mail: k2kf@yandex.ru

In the presented article the problem of use of legislatively allowed refrigerants in the heat pump units (HPU) is studied. In introduction it is noted that the potential and scale of energy saving in Russia with the help of HPU are great. It needs to be rationally used, provoking interest in business and consumers, with the appropriate stimulation and support of the government. In the article the efficiency of heat pump cycles with different working bodies is compared under the same conditions. It is shown that heating systems for rooms with warm floors have advantages over traditional heating systems (heating radiators). The coefficient of transformation of heat in this heating principle increases by more than 2 times, the power consumption of the compressor is almost 3 times lower.

Keywords: energy saving, heat pump, heating and hot water supply of buildings

Общеизвестно, что тепловые насосные установки (ТНУ) широко используются в мире, в практике энергосбережения для целей отопления и горячего водоснабжения (ГВС) зданий и сооружений жилого и промышленного назначения, систем кондиционирования, технологических нужд предприятий. Суть применяемого принципа энергосбережения сводится к использованию низкопотенциальной энергии от возобновляемых источников энергии - воздуха, воды, земли. Количество действующих ТНУ в мире исчисляется десятками миллионов штук, которые различаются по конструктивному исполнению, мощности, применяемым рабочим телам, источникам низкопотенциальной теплоты и т.д. Особенно широко ТНУ распространены в США, Швеции, Норвегии, Японии, Франции, Германии, Великобритании, в других странах Западной Европы, там, где большое значение приобретают действия жителей и государств по энергосбережению. Ежегодный прирост ТНУ в мире исчисляется величиной около 1 000 000 шт. Россия в этом отношении существенно отстала от технологически развитых стран в области ТНУ, в настоящее время речь идёт лишь о нескольких сотнях действующих ТНУ небольшой и средней мощности, выполненных в основном на базе ТНУ зарубежных производителей. Потенциал и масштабы энергосбережения в стране с помощью TĤУ огромны, особенно применительно к разнообразным климатическим и географическим условиям России. И его необходимо рационально использовать, вызвав интерес у бизнеса и потребителей, при соответствующем стимулировании и поддержке государства.

В статье анализируются основные технические вопросы, которые возникают при создании ТНУ на каких-либо жилых и производственных объектах. В практике наиболее распространены парокомпрессионные тепловые насосы (ТН). В них используют специальные рабочие тела (РТ), которые называют хладагентами. Не существует уни-

версальных РТ для ТНУ, пригодных для любых типов объектов, внешних природных условий, применяемых параметров, соответствующих требованиям пожарной и экологической безопасности для окружающей среды и т.д. [1]. Вероятно, что желаемые универсальные РТ не будут созданы в обозримом будущем. Главным вопросом при создании ТНУ является выбор хладагента для ТН, что определяет состав оборудования, конфигурацию и эксплуатационные характеристики установки. Этот выбор является компромиссным решением при комплексном анализе влияния многочисленных факторов.

Принцип работы ТНУ широко известен и в статье не рассматривается. Основное оборудование ТН: испаритель, компрессор с внешним приводом, конденсатор, дроссель. В герметичном контуре циркулирует хладагент. ТНУ снабжается ТН, теплообменниками – для отбора теплоты от низкотемпературного источника теплоты (НИТ), для отдачи теплоты к высокотемпературному источнику теплоты (ВИТ) потребителя, автоматической системой управления. Образно говоря, ТНУ работает по принципу «холодильник наоборот». ТНУ может работать в качестве кондиционера, при этом реверс потока РТ в ТН переводит ТНУ из режима теплонасосного в холодильный. Последнее качество в техническом отношении проще реализовать для ТНУ типа «воз- $_{\rm J}$ ух — воздух».

В настоящее время на практике применяют разнообразные хладагенты. В зависимости от наличия атомов хлора или фтора в РТ и воздействия на озоновый слой в атмосфере Земли их классифицируют: НСFС (гидрохлорфторуглероды); СFС (хлорфторуглероды); НFС (гидрофторуглероды); (НС) простые углеводороды и природные хладагенты. Основные группы используемых хладагентов [1–5]:

- Хладагенты с высокой озоноразрушающей активностью это хлорфторуглероды R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503, R12B1, R13B1. Их использование в мире запрещено для разработок новых объектов. Они постепенно выводятся из обращения в соответствии с международными соглашениями.
- Хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью это гидрохлорфторуглероды R21, R22, R141b, R142b, R123, R124 и др. Применение их в промышленно развитых странах ограничено сроком до 2020 г., а в развивающихся странах до 2040 г.
- Хладагенты озонобезопасные, некоторые фторуглероды (FC), гидрофторуглероды (HFC) и др.: хладагенты R134, R134a,

R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318 и др.

• Простые углеводороды (НС) и природные хладагенты озонобезопасные — R290, R600, R600a, R717, R744 и др. Они являются перспективными РТ для применения в холодильной технике и ТНУ, несмотря на недостатки некоторых из них в пожароопасном отношении, токсичности, коррозионном разрушении деталей из меди и её сплавов (последнее касается аммиака R717).

С учётом действующих ограничений на использование хладагентов выбор законодательно разрешённых рабочих тел для ТН существенно ограничен — можно применять только простые углеводороды и природные хладагенты, а также некоторые виды озонобезопасных хладагентов.

Теплофизические характеристики РТ должны быть пригодны для создания ТНУ. Рассмотрим для одинаковых условий сравнения термодинамические показатели ТН, выполняемых с различными РТ. Для анализа выберем хладагенты, либо уже широко применяемые в холодильной технике и для различных видов ТНУ, либо перспективные для новых проектов ТНУ. А именно: бутан R600; пропан R290; фреон 134a (изомеры тетрафторэтана); фреон R152a (дифлюороэтан); переходная смесь – фреон R401A (R22/152a/124 53/13/34%). Распространённый фреон R410a (смесь R32/125 50/50%) широко применяется для TH типа «воздух – воздух», «воздух – вода», но до температур ВИТ не более 60°С. Смеси веществ в фреонах (зеотропные и азеотропные) позволяют работать ТН на «скользящих» параметрах, т.е. при различных температурах кипения и конденсации компонент в составе смеси (температурный глайд), что расширяет эксплуатационные возможности ТНУ.

При выборе конкретного РТ необходимо учитывать назначение ТНУ, параметры НИТ и ВИТ, так как это существенно влияет на конструктивные решения ТНУ, а также на коммерческую привлекательность проекта [4, 6]. При применении ТНУ для отопления потребителям необходимо понимать, что ТН в большей степени оправдывает себя в хорошо утепленном здании, с тепловыми потерями не более 80 Вт/м². (Чем теплее дом, тем больше выгода для потребителя, тем меньше «отапливается» атмосферный воздух на улице.)

Назначение ТНУ и виды НИТ

Как известно, в ТНУ происходит процесс переноса теплоты от НИТ к ВИТ, в результате осуществления обратного цикла с потреблением дополнительной энергии (механической работы для привода компрессора) от

внешнего источника. Самое важное свойство ТНУ – за счёт отвода теплоты от НИТ и выполнения обратного цикла к ВИТ поступает значительно большая тепловая энергия, чем энергия, затраченная для привода компрессора. Отношение тепловой энергии, получаемой потребителем в ВИТ, к механической работе привода компрессора оценивается коэффициентом трансформации теплоты в ТНУ, который для реализованных ТНУ может быть в пределах 2...6 и более.

В качестве НИТ могут быть использованы разнообразные природные или техногенные среды: атмосферный воздух, отработанные отводимые газы; вода (подземные воды, поверхностные воды — реки, озёра, моря, термальные воды, производственные сбросы теплоносителей и т.п.); грунты (почва, земля на достаточной глубине и т.п.).

Для ТНУ небольшой мощности в качестве НИТ обычно служит атмосферный или отводимый воздух, почва на сравнительно небольшой глубине, подпочвенные воды.

Диапазон изменения температуры воздуха для работы ТНУ достаточно широк. Серийные ТНУ воздушного типа способны работать при низкой температуре воздуха – около минус 25...30°C. При более низких температурах воздуха использование ТНУ неэффективно либо технически трудно реализуемо. Требуется иметь дополнительное оборудование для отопительных целей в очень холодное время зимой, например электрообогревательные приборы. Надёжная работа воздушных ТНУ зависит от влажности воздуха. При отрицательных температурах и высокой влажности воздуха может происходить обмерзание теплообменных поверхностей у испарителя ТН, ухудшение теплопередачи от воздуха (НИТ) к РТ в испарителе. ТНУ типа «воздух – воздух» являются наиболее простыми в конструктивном исполнении, наименее дорогими, удобными в эксплуатации, полностью автоматизированными для работы и широко распространёнными в мире. В мире также широко применяют ТНУ типа «воздух – вода», у которых повышена мощность и уменьшены габариты теплообменников ВИТ, по сравнению с типом «воздух – воздух».

Температуры почв и подпочвенных вод зависят от географического расположения региона. На небольшой глубине (не более 5...8 м) в большинстве регионов России температура почвы достаточно стабильна и в зимний период времени составляет + 4...10°С, что приемлемо для создания ТНУ. С увеличением расстояния от поверхности земли температура почвы возрастает. Конструкция теплообменника НИТ может

быть горизонтального или вертикального типа. Следует учитывать большую стоимость работ по сооружению водозабора, слива подпочвенных вод, а также вопросы получения разрешения на их использование от местной администрации. Охлаждение почвы при горизонтальной схеме размещения теплообменников НИТ снижает её пригодность для произрастания сельскохозяйственных культур, деревьев, кустарников и т.п.

Вода в открытых поверхностных НИТ – реках, озёрах в зимний период имеет довольно низкую температуру, на глубине 4...6 м около +3...4°С. В подавляющем большинстве регионов России зеркало поверхности рек и озёр покрывается льдом. Охлаждение воды при работе ТНУ будет приводить к локальному увеличению толщины льда. При неблагоприятных условиях на наружной поверхности теплообменника НИТ может образоваться лёд, что ухудшает теплопередачу от воды к циркулирующему теплоносителю.

В ТНУ средней и большой мощности, как правило, используют воды различных источников и грунты на достаточно больших глубинах. НИТ для мощных тепловых насосов может быть морская вода, грунтовая вода из источника большой производительности, термальные воды, сбросы тёплых промышленных стоков и т.д. Для морских вод в России характерны стабильные температуры порядка + 5...8°С на глубинах более 25 м. Морская вода, в зависимости от концентрации солей, замерзает при температуре около -4°C, что упрощает условия для работы теплообменников НИТ. В мощных ТНУ для НИТ используют грунты, теплота к циркулирующему теплоносителю отбирается из скважин глубиной 100...200 м и более. С течением достаточно длительного времени отбор теплоты от грунта стабилизируется и температура НИТ становится практически постоянной. Стоимость буровых работ, обустройства скважин, велика, что увеличивает срок окупаемости инвестиций в проект ТНУ.

Требования к ВИТ

В конденсаторе ТНУ при конденсации паров РТ выделяется теплота, которая передаётся к теплоносителю ВИТ, в качестве которого может быть воздух, вода либо специальные органические жидкости. Отопительные системы в жилых домах, производственных зданиях и сооружениях могут выполняться по различным принципиальным схемам. В многоквартирных домах используют обычно горячую воду от котельных, либо от ТЭЦ. Температура прямой и обратной воды для отопительных целей регулируется в соответствии со специальными

температурными графиками, в зависимости от температуры атмосферного воздуха. Система регулирования температуры сетевой воды в системе теплоснабжения может быть количественной или качественной. (При количественном регулировании расход воды переменный, температура воды постоянная. Качественный принцип регулирования связан с изменением температуры воды, но расход её постоянный.) В России принят качественный принцип регулирования температуры воды для отопления. В большинстве зарубежных стран используют количественное регулирование в системах отопления, так как этот принцип имеет ряд преимуществ для энергосбережения и удобства эксплуатации. В рамках настоящей статьи эти вопросы не рассматриваются.

Существуют нормы для проектирования и эксплуатации систем теплоснабжения, источников теплоты, тепловых сетей для транспортировки горячей воды к потребителям. Для традиционных систем отопления с наружными радиаторами рекомендуется выполнять подачу теплоты с температурой воды по графику 90/70°C или 115/70°C. Во многих проектах новостроек могут быть тепловые схемы, выполненные по графику 80/60°C. Проектная схема теплоснабжения подлежит утверждению в специализированных организациях. В промышленном производстве требования к качеству и температуре горячей воды могут быть разнообразными, в зависимости от вида технологических процессов, температура воды может быть в пределах + 10...100 °С и более.

Нормативный режим подачи горячей воды для ГВС не должен превышать 75°С. Теплосеть централизованной системы ГВС с водоразбором подаёт воду потребителям при температуре 60°С. Правилами предусмотрено создавать системы ГВС с подачей воды до + 37°С в школы, детдома, детские сады, некоторые виды лечебных и социальных учреждений. Следует специально отметить важное обстоятельство — для уничтожения микробов, развивающихся в воде, требуется периодическая промывка тепловых сетей горячей водой с температурой выше + 60°С, в соответствии с санитарными нормами и правилами.

В последние годы в мировой практике теплоснабжения зданий и сооружений существует тенденция отказа от традиционных радиаторов отопления и переход на обустройство тёплых полов и тёплых стеновых панелей. Ресурс тёплых полов превышает полвека. Этот способ позволяет получить более комфортные условия в части равномерности поля температур в объёме помещения, а также применять греющий тепло-

носитель с температурой порядка 40–50 °С, в зависимости от вида покрытия поверхности теплового пола, а также от назначения помещения. По европейским нормативам, например, комфортная температура теплого водяного пола составляет: 21 °С на ковровом покрытии, на деревянном полу 24 °С, под кафель 26 °С, для паркета 30 °С, для линолеума 27 °С. Допустимая температура воздуха в помещениях различных категорий определена в СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Максимальная температура водяного теплого пола не должна превышать 26 °С в помещениях с постоянным пребыванием людей.

К температуре теплоносителя в контуре ВИТ предъявляются следующие требования: — 90/70 °C (115/70 °C, возможно 80/60 °C) для прямой и обратной сетевой воды в традиционных системах отопления объектов, с качественным регулированием по температурному графику;

-60...75 °C на входе, для типовых систем ГВС, с водоразбором;

 40...50°C на входе, для систем отопления объектов с тёплыми полами.

Сопоставление РТ для ТН

Для решения вопросов выбора вида РТ для ТН выполним ориентировочные расчёты, с использованием тепловых диаграмм $i - \lg p [3]$, приняв внешние условия, одинаковые для всех сопоставляемых типов установок. Рассматриваются вышеуказанные хладагенты, применяемые в холодильной технике, которые в принципе могут быть использованы для создания ТНУ. Предварительный анализ показал неприемлемость простых хладагентов R717 (аммиак) и R744 (двуокись углерода) в ТНУ для систем теплоснабжения с качественным регулированием при температуре сетевой воды 90/70 °C в теплообменнике ВИТ, так как процесс конденсации пара РТ происходит в области перегретого пара. (При количественном регулировании системы теплоснабжения, где температура РТ на выходе из конденсатора порядка 20...30°C, для ряда проектов эти хладагенты могут быть применены.) Принятые условия сопоставления TH: тип TĤУ «вода - вода»; тепловая мощность, переданная к ВИТ, составляет 5 МВт; температура теплоносителя в теплообменнике НИТ + 8°C (грунт, вода); Вариант 1. Температура теплоносителя в теплообменнике ВИТ на входе/выходе 90/70°C; Вариант 2. Температура теплоносителя в теплообменнике ВИТ на входе/выходе 45/25°C; разница температур при теплопередаче между РТ в ТН и в теплообменниках НИТ и ВИТ 5°С; на входе РТ в компрессор нет перегрева пара

хладагента (если позволяет форма верхней пограничной кривой хладагента, при сжатии паров в компрессоре не должна образовываться жидкая фаза РТ); адиабатный КПД компрессора 0,85; пренебрегаем гидравлическими потерями в теплообменных аппаратах, трубопроводах, в ТН; конструктивные и коммерческие решения ТНУ не рассматриваются, считается, что они могут быть реализованы в проектах.

В табл. 1 приведены оценочные результаты термодинамических расчётов циклов ТН, для варианта 1 (система с традиционными радиаторами), в табл. 2 — для варианта 2 (тёплые полы).

Расчёты при варьировании тепловой мощности (0,2...30 МВт), передаваемой к потребителю в теплообменнике ВИТ приведены только для одного из выбранных РТ. Для наглядности и выявления влияния изменений тепловой мощности ТН, передаваемой в ВИТ потребителю теплоты на

характеристики ТН, в табл. 3 приведены результаты расчётов термодинамических параметров цикла ТН с распространённым рабочим телом R134a, при заданных условиях сопоставления. Параметры РТ в контуре ТН и внешние условия НИТ и ВИТ соответствуют данным в табл. 2, вариант отопления с температурами 45/25 °C (тёплый пол), а также данным в табл. 1, вариант отопления 90/70 °C (радиаторы отопления).

Представляет практический интерес применение ТНУ для низких температур НИТ порядка $-10...-30\,^{\circ}$ С. Для примера в табл. 4 приведены основные результаты расчёта цикла ТН для распространённого в холодильной технике РТ типа R134a, при низких температурах НИТ (например, мёрзлый грунт). В теплообменнике НИТ циркулирует незамерзающая жидкость. ВИТ при этом работает по температурному графику $45/25\,^{\circ}$ С и обеспечивает потребителю тепловую мощность 5 МВт.

Таблица 1 Вариант 1. (90/70 °C). Термодинамические параметры ТН с различными видами РТ

No	Параметр, размерность	Тип хладагента						
п/п		R600	R290	R134a	R401A	R152a		
1	Критическая температура, °С	150,8	96,67	101,1	108,01	113,5		
2	Критическое давление, бар	37,18	42,36	40,67	46,04	44,95		
3	Температура РТ в испарителе ТН, °С	+3						
4	Давление РТ в испарителе ТН, бар	1,15	5	3,1	3,05	2,9		
5	Давление РТ в конденсаторе ТН, бар	14	29	26,5	21	19		
6	Секундный расход РТ, кг/с	15,528	18,727	36,765	32,051			
7	Удельная работа компрессора, кДж/кг	124	112	52	51	*/		
8	Мощность компрессора, кВт	1 925	2 097	1 912	1 635	*)		
9	Теплота, отбираемая у НИТ, кВт	3 075	2 903	3 088	3365			
10	Теплота, передаваемая к ВИТ, кВт		5 (000				
11	Коэффициент трансформации теплоты	2,597	2,384	2,615	3,058			

Примечание. *) Для температурного графика 90/70°С цикл не реализуется. Процесс конденсации пара происходит в области перегретого пара. Для варианта 2 с температурным графиком 45/25°С хладагент R152a используется эффективно.

Таблица 2 Вариант 2. (45/25 °C). Термодинамические параметры ТН с различными видами РТ

No	Параметр, размерность	Тип хладагента						
п/п		R600	R290	R134a	R401A	R152a		
1	Температура РТ в испарителе ТН, °С			+3				
2	Давление РТ в испарителе ТН, бар	1,15	5	3,1	3,05	2,9		
3	Давление РТ в конденсаторе ТН, бар	4,99	14	11,5	10,5	8		
4	Секундный расход РТ, кг/с	12,987	14,006	26,738	25,252	16,611		
5	Удельная работа компрессора, кДж/кг	69	55	28	27	36		
6	Мощность компрессора, кВт	896	770	749	682	598		
7	Теплота, отбираемая у НИТ, кВт	4 104	4 230	4 251	4 318	4402		
8	Теплота, передаваемая к ВИТ, кВт	5 000						
9	Коэффициент трансформации теплоты	5,58	6,494	6,676	7,331	8,361		

Таблица 3 Основные параметры работы ТНУ при варьировании тепловой мощности ВИТ

No	Параметр, размерность	Тепловая мощность для потребителя ВИТ, кВт						
п/п		200	500	1 000	10 000	20 000	30 000	
1	Площадь отапливаемых помещений (по нормативу $100 \mathrm{Br/m^2}$), $\mathrm{m^2}$	2 000	5 000	10 000	100 000	200 000	300 000	
2	Количество отапливаемых квартир, каждая площадью 100 м ²	20	50	100	1 000	2 000	3 000	
	Вариант отопления с температу	рным гр	афиком 4	15/25°С (тё	ёплые пол	ы)		
3	Теплота, отведённая от НИТ, кВт	170	425	850	8 500	17 000	25 500	
4	Расход РТ в контуре ТН, кг/с	1,068	2,67	5,34	53,4	106,8	160,2	
5	Мощность, требуемая для привода компрессора, кВт	30	75	150	1 500	3 000	4 500	
6	Коэффициент трансформации теплоты в ТН	6,676						
	Вариант отопления с температурны	м графиком 90/70°C (радиаторы отопления)						
7	Теплота, отведённая от НИТ, кВт	123	308	616	6 160	12 320	18 480	
8	Расход РТ в контуре ТН, кг/с	1,471	3,677	7,354	73,54	147,08	220,62	
9	Мощность, требуемая для привода компрессора, кВт	76,48	191,2	382,4	3 824	7 648	11 472	
10	Коэффициент трансформации теплоты в ТН	2,615						

Таблица 4 (45/25 °C). Параметры циклов ТН с R134a при низких температурах НИТ

No	Параметр, размерность	Температура НИТ, °С				
п/п		-30	-20	-10		
1	Температура РТ в испарителе ТН, °С	-25	-15	-5		
2	Давление РТ в испарителе ТН, бар	1,1	1,35	2,3		
3	Давление РТ в конденсаторе ТН, бар	7,8	9	10,3		
4	Секундный расход РТ, кг/с	25,76	25,9	25,91		
5	Удельная работа компрессора, кДж/кг	51,01	46,02	37,98		
6	Мощность компрессора, кВт	1 314	1 192	984		
7	Теплота, отбираемая у НИТ, кВт	3 686	3 808	4016		
8	Теплота, передаваемая к ВИТ, кВт		5 000			
9	Коэффициент трансформации теплоты	3,879	4,195	5,081		

Выводы

Из анализа результатов расчёта циклов ТН можно сделать следующие выводы.

- 1. Использование R152a для систем теплоснабжения по температурному графику 90/70°С неприемлемо из-за окончания процесса конденсации пара в конденсаторе ТН в области перегретого пара. Но оно возможно для систем с температурным графиком 45/25°С, при этом обеспечивается высокий коэффициент трансформации теплоты до 8,6.
- 2. При работе традиционных систем отопления по графику 90/70°C, с наружными радиаторами, обеспечивается коэффициент трансформации теплоты порядка 2,6...3. Применение температурного графика 45/25°C, для отопления с тёплым полом, позволяет существенно улучшить теплотехнические показатели ТНУ. При этом коэффициент трансформации теплоты увеличивается более чем в два раза (5,6...8,3), почти в три раза снижается потребная мощность

привода компрессора, а также заметно уменьшается расход РТ в контуре TH.

3. ТНУ с хладагентом R134a обеспечивает высокую эффективность работы, в диапазоне температур -10...-30°С коэффициент трансформации теплоты составляет 5,1...3,9.

Список литературы

- 1. Малафеев И.И., Ильин Г.А., Крысанов К.С. Рабочие тела высокотемпературных тепловых насосов. Современное состояние вопроса и направления развития // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. Т. 3, № 3 (21). С. 53–58.
- 2. Хладагенты и проблемы экологической безопасности окружающей среды // ООО «ИЭТ Геотерм» [Электронный ресурс]. URL: www.teplovoy-nasos.com (дата обращения: 18.11.2017).
- 3. ООО «Ависанко». Термодинамические диаграммы $i-\lg p$ для хладагентов. М.: Ависанко, 2003. 50 с.
- 4. Цветков О.Б. Холодильные агенты: Монография. 2-е изд. СПб.: СПбГУ-НиПТ, 2004. 216 с.
- 5. Озонобезопасные хладагенты / О.Б. Цветков, А.В. Бараненко, Лаптев и др.// НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». -2014. -№ 3. C. 98-111.
- 6. Васильев Г.П., Шилкин Н.В. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах // ЭСКО. Электронный журнал знергосервисной компании «Экологические системы» [Электронный ресурс]. URL: http://esco.co.ua/journal/2008_4/art189.htm (дата обращения: 18.11.2017).

УДК 621.762:669.018

ТЕОРИИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Саенков К.Л., Оглезнева С.А., Гревнов Л.М.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: severskl@mail.ru

Исследован вопрос о природе аустенитно-мартенситных фазовых превращений в конструкционных и специальных сталях. Проанализированы различные подходы к описанию мартенситного превращения. Рассмотрены классические положения кристаллографического и термодинамического подходов в сравнении с современной динамической теорий. Представлены основные положения динамической теории мартенситного превращения, базирующейся на волновом механизме роста кристалла мартенсита. Показана определяющее влияние критического размера зерна на возможность или отсутствие возможности протекания аустенитно-мартенситного превращения в сплавах на основе железа. Определены роли границы зерна и дефектов кристаллического строения в механизме аустенитно-мартенситного превращения в рамках динамической теории, отличающиеся от их роли в классических описаниях. На базе положений динамической теории фазовых превращений показаны следствия измельчения зерна до критического размера, выражающиеся в потере пластичности сплавов, а также торможении превращения, практически вне зависимости от химического состава. Использование динамической теории фазовых превращений открывает перспективы в разработке новых сплавов (в том числе прецизионных и хладостойких) с управляемым аустенитно-мартенситным превращением.

Ключевые слова: структура, фаза, аустенит, мартенсит, классическая теория, термодинамическая, динамическая теория, превращение, кристалл, упрочнение, пластичность

THEORY AUSTENITE-MARTENSITE TRANSFORMATION

Saenkov K.L., Oglezneva S.A., Grevnov L.M.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: severskl@mail.ru

Investigated the issue of the nature of austenite-martensitic phase transformations in structural and special steels is investigated. Various approaches to the description of the martensitic transformation are analyzed. The classical positions of the crystallographic and thermodynamic approaches are compared with the modern dynamic theory. The main provisions of the dynamic theory of martensitic transformation based on the wave mechanism of martensite crystal growth are presented. The determining role of the critical grain size for the possibility or absence of the possibility of austenitic-martensitic transformation in iron-based alloys is shown. The roles of grain boundaries and crystal structure defects in the mechanism of austenitic-martensitic transformation are determined within the framework of the dynamic theory, which differ from their role in classical descriptions. On the basis of the provisions of the dynamic theory of phase transformations, the consequences of grain refinement to a critical size are shown, which are expressed in the loss of plasticity of alloys, as well as in the inhibition of the transformation, practically regardless of the chemical composition. The use of the dynamic theory of phase transformations opens up prospects in the development of new alloys (including precision and cold-resistant ones) with a controlled austenitic-martensitic transformation.

Keywords: structure, phase, austenite, martensite, classical theory, thermodynamics theory, dynamical theory, the transformation, crystal hardening, plasticity

Исследование мартенситного превращения (МП) в сталях не утрачивает актуальности и особенную важность приобретает сегодня при разработке новых хладостойких материалов для Арктики, новых специальных сплавов для приборостроения, обладающих эффектами сверхпластичности, сверхупругости, формы и другими аномальными механическими свойствами сплавов, так или иначе связанными с данным превращением. Понятие «мартенситное превращение» появилось во время изучения процессов, происходящих при быстром охлаждении сталей, приводящих к получению определенной структуры и высоких прочностных свойств. Во второй половине XX века были сформулированы особенности аустенитно-мартенситных превращений. Среди этих особенностей присутствуют бездиффузионный, сдвиговый характер фазового превращения, быстрое развитие превращения при низких температурах, зависимость количества мартенсита от температуры и специфическая «мартенситная» структура [1].

Целью статьи является рассмотрение сущности теорий и подходов, описывающих мартенситное превращение – кристаллографического, термодинамического подходов и динамической теории.

Кристаллографический подход

Все превращения мартенситного типа имеют между собой ряд общих особенностей, таких как закономерность перемещений атомов относительно друг друга, направленность этих перемещений в процессе перестройки кристаллической решет-

ки исходной фазы в новую (образующую) фазу и кооперативность перемещений атомов. Эти особенности ведут за собой макроскопическое смещение и появление рельефа на поверхности. Полученные результаты Г.В. Курдюмова привели к определению мартенситного превращения: «Мартенситное превращение состоит в закономерной перестройке решетки, при которой атомы не обмениваются местами, а лишь смещаются друг относительно друга на расстояния, не превышающие междуатомные» [2].

Закономерности перестройки атомов при γ-α превращениях следуют из определенных кристаллогеометрических соотношений между кристаллическими решетками (структурами) ү и α-фаз. В результате аустенитно-мартенситного превращения из одной ориентировки ү фазы (зерна, монокристалла) может получиться 24 ориентировки мартенситной α-фазы. Так же при приложении деформации количество возникших ориентировок мартенсита существенно уменьшается, в идеальных случаях это приводит к образованию одной, при которой наблюдается максимальная деформация. При обратном превращении из одной ориентировки α фазы может возникнуть только конкретный вариант ориентировки у (исходной) фазы. В частности, такая особенность связана с тем, что α-фаза (мартенсит), образовавшаяся при охлаждении или при деформации, чаще имеет более низкую симметрию, чем высокотемпературная (исходная) фаза [3]. Чтобы полностью описать перестройку при у-а превращении, недостаточно данных только по взаимной ориентировке фаз. Для определения механизма превращения необходимы сведения о межфазной границе кристаллов α и γ-фаз, направлении и величине однородного макроскопического сдвига, типе и величине неоднородного сдвига, нужного для конечной перестройки структуры. При аустенитномартенситных превращениях часто образуются фазы с более низкой симметрией относительно исходной фазы [1]. Все эти схемы и механизмы должны давать соответствующие экспериментальным наблюдениям параметры и кристаллографические характеристики появляющихся структур, такие как взаимные ориентировки между фазами, ориентировку межфазной границы – габитуса, величину и направление макроскопического сдвига, тип неоднородного сдвига. Довольно часто в механизмах перестройки рассматривают два типа сдвигов – это однородный (макроскопический с появлением рельефа) и неоднородный (появляется тонкая

структура, двойники, дефекты упаковки, дислокации). Субструктура зависит от типа сплава, а также от вида мартенситного превращения. При перестройке кристаллической структуры исходной фазы в мартенситную оба сдвига происходят не последовательно один за другим, а одновременно. Поверхность превращенной области материала наклоняется к плоскости шлифа (рис. 1), но остается плоской [4].

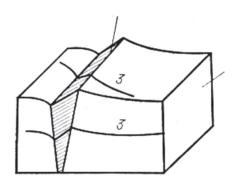


Рис. 1. Характер рельефа, возникающего на поверхности полированного шлифа в результате образования кристалла мартенсита (1 — исходная фаза; 2 — новая фаза (мартенсит)); 3 — линия, проведенная на плоской поверхности образца, в исходном состоянии она остается непрерывной и после образования мартенситной фазы)

В механизме перестройки, к примеру для МП в сплавах железо-никель-углерод, на начальной стадии в иррациональной габитусной плоскости происходит макроскопический сдвиг, приводящий к рельефу на полированной поверхности. В результате образуется триклинная структура с идентичным расположением атомов и межплоскостными расстояниями, как для мартенситной плоскости. На следующем этапе происходит сдвиг не приводящий к изменению формы превращающегося объема, так как сдвиг, однородный только в небольших объемах и неоднородный макроскопически. Промежуточная триклинная решетка преобразуется (в результате второго сдвига) в мартенситную решетку (ОЦТ). Для этих двух сдвигов выбор плоскостей и направлений определяется минимальным углом сдвига и минимальным изменением параметров. Для получения мартенситной решетки правильных размеров, кроме таких сдвигов, необходимо расширение в направлении [100] на 4,2%. Такой механизм перестройки ү-структуры в а-структуру (исходную в мартенситную), учитывает объемные изменения при превращении. Такой механизм превращения подтверждает предположения о двух сдвигах при мартенситных превращениях и являлся причиной разработки моделей и процессов перестройки кристаллической решетки во время мартенситного превращения [5].

Термодинамический подход

Возможность бездиффузионного образования новой (мартенситной) фазы термодинамическому обоснованию означает, что рост α-фазы (состав которой соответствует исходной) происходит с понижением свободной энергией. Кроме объемной энергии, здесь не учитывается процесс зарождения и иные составляющие для свободной энергии рассматриваемого сплава. Кинетика аустенитно-мартенситного превращения в сплавах одной и той же системы (железо-углерод, железо-никель, железо-никель-углерод) имеет большое разнообразие. Именно эти различия (разнообразие) отличают γ – α превращения от других. В одних превращениях мартенситного типа можно наблюдать как взрывную реакцию, так и постепенный процесс развития по мере охлаждения и медленное образование превращенного объема, или даже подавление превращения при быстром охлаждении в область температур жидкого азота [3]. В сплавах с самым низким положением мартенситной точки превращение в ходе охлаждения идет как серия мелких взрывов, и нет подрастания количества мартенсита при

постоянной температуре. Понижение температуры не замедляет этого превращения и увеличения скорости охлаждения, соответственно, не позволяет задержать образования мартенсита. Такой тип превращения называется «атермическим». Превращение по атермической кинетике (атермическое МП) при изменении температуры всегда начинается и заканчивается при строго определенных температурах как при прямом (M_{H}, M_{K}) , так и при обратном (Ан, Ак) переходе и характеризуется некоторый гистерезисом (рис. 2) [4]. Величина гистерезиса при атермическом МП может колебаться от нескольких сотен градусов (превращение с большим гистерезисом, например в сплавах на основе железа) до нескольких десятков градусов (термоупругое превращение, например в сплавах на основе меди). В случае термоупругого МП увеличение количества мартенситной фазы при понижении температуры происходит за счет образования новых кристаллов мартенсита и путем подрастания ранее возникших [6].

При самой низкой температуре быстрый рост мартенситных кристаллов приходит к их взаимной деформации «вторжением» и пересечением. При исследовании структуры внутри кристаллов можно заметить четкие линии – скопления очень тонких двойников; в остальной части кристаллов атермического мартенсита также выявляются двойники, но более широкие и редкие [6].

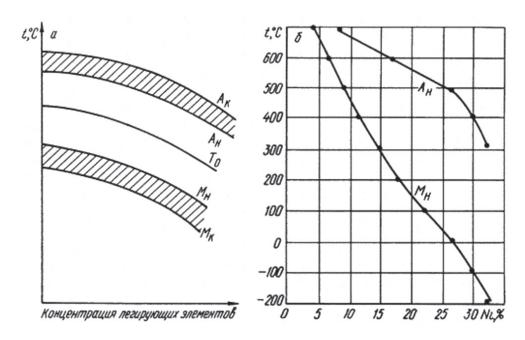


Рис. 2. Температуры прямого (Мн-Мк) и обратного (Ан-Ак) превращений в системе Fe-Ni

Динамическая теория

Динамическая теория у-а фазового превращения подразумевает под собой подход, который разрабатывался для описания возникновения и распространения носителей пороговой деформации, инициирующей у-а (ГЦК-ОЦК или ОЦТ) мартенситное превращение (МП) в сплавах на основе железа. На сегодняшний день выпущено множество трудов как для интерпретации особенностей протекания аустенитно-мартенситного превращения (связанных с носителями пороговой деформации), так и при создании динамического подхода к теории формирования кристаллов мартенсита. Идея теории, дополнительной к термодинамическому подходу, сводится к расшифровке динамической структуры возбужденного состояния решетки в неравновесной области фронта нелинейной волны превращения. Один из сценариев роста мартенсита с позиции волновой теории указывает, что в прилегающих к границе областях при взаимодействии мартенситного кристалла с границей могут рождаться дислокации, становящиеся центрами зарождения новых мартенситных кристаллов (рис. 3) [7].

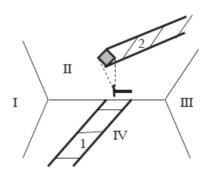


Рис. 3. Схема эстафетного роста, взаимодействие кристалла 1 с границей между зернами IV и II приводит к рождению в зерне II дислокационного центра зарождения для запуска роста кристалла 2

Основой аксиоматики динамической теории является концепция гетерогенного зарождения и волнового роста мартенситного кристалла. Зависимость размера зерна от химического состава позволяет объяснить существование предельной для протекания у—а превращения концентрации легирующего элемента в сплаве [6, 7]. Превращения мартенситного типа в твердых телах представляют собой варианты реализации полиморфизма, особенность которых — кооперативный характер смещения атомов. Динамическая модель формирования двойников превращения представляет-

ся как распространение пар налагающихся коротковолновых смещений, согласованное с управляющим на мезомасштабе волновым процессом. Динамический подход описывает все морфологические характеристики в виде аналитических зависимостей от упругих свойств у-фазы.

Существует два предельных случая реализации мартенситных превращений в металлах и сплавах. Превращение может протекать как переход второго рода в равновесных условиях, тогда в системе при температуре М_ происходит «размягчение» решетки, структура α-фазы рассматривается как следствие искажений у-фазы. Мартенситное превращение протекает как ярко выраженный переход первого рода в неравновесных условиях. В фононном спектре исходной фазы и до температуры М отсутствуют заметные аномалии, что указывает на метастабильную устойчивость кристаллической решетки. Рост кристаллов осуществляется за счет распространения управляющего процесса, несущего локализованную в области волнового фронта пороговую деформацию. При таких превращениях симметрии решеток исходной и конечной фаз не связаны отношением соподчинения. Классическим примером здесь является аустенитно-мартенситное превращение в сплавах на основе железа. В таком случае неравновесная электронная подсистема в области волнового фронта при определенных условиях способна генерировать бегущие волны смещений, поддерживая тем самым управляющий волновой

Для переходных металлов характерно наличие сравнительно узких энергетических зон с несколькими пиками в плотности состояний. Накопленная для реконструктивных МП информация свидетельствует, что образующиеся мартенситные кристаллы обладают набором взаимосвязанных морфологических признаков (кристаллографические ориентации габитусных плоскостей, макросдвига, решеток γ и α-фаз), кооперативный отражающих характер этого процесса. Данный подход эффективен и для фазовых переходов первого рода близких к переходам второго рода, так как наличие дефектов дает возможность для начала мартенситного превращения при температуре, многим отличающейся от температуры абсолютной потери устойчивости кристаллической решетки. Имеющаяся на сегодняшний день информация о МП свидетельствует, что образующиеся мартенситные кристаллы обладают набором взаимосвязанных морфологических признаков, таких как кристаллографические ориентации габитусных плоскостей, макросдвиг, решетки γ и α-фаз; отражающих кооперативный характер данного процесса.

Динамическая теория также рассматривает возможности протекания аустенитномартенситного превращения в объемных нанокристаллических материалах. Такой тип превращения, не обладающий полным представительным набором морфологических признаков, характерным для мартенсита охлаждения, предложено именовать «аккомодационным» [9]. Динамическая теория дополняет результаты исследований аустенитно-мартенситного спонтанного превращения, описывает механизмы формирования кристалла в зернах с размером, превышающий критический (такой размер зерна, где не может поместиться дислокация), имеет наиболее полное описание особенностей МП, относительно классических подходов к теории аустенитно-мартенситных превращений [10].

Выводы

Все теории и подходы к описанию мартенситных превращений, существующие на сегодняшний день, могут применяться в зависимости от состава материала и технологий его производства.

Кристаллографический подход к описанию аустенитно-мартенситного превращения в сталях учитывает все основные физические механизмы γ - α превращения. Одним из ключевых механизмов здесь является то, что деформация аустенита преобразует исходную решетку в решетку мартенсита.

Термодинамический подход указывает на то, что в условиях большого переохлаждения не может произойти диффузионный распад аустенита на ферритокарбидную смесь, приводящий систему к абсолютному минимуму свободной энергии, и аустенит бездиффузионным способом превращается в мартенсит, что приводит систему к относительному минимуму свободной энергии.

Динамическая теория основывается на концепции гетерогенного зарождения и управляемого волнового роста. Отличительной особенностью динамической теории является положение о том, что превращение начинается не на границе зерна (как при кристаллографическом подходе), а в его объеме. Превращение, согласно динамической теории, так же провоцируют дефекты структуры (как и в других подходах), но обычно в классических теориях дефектом считается граница зерна, так как на ней есть дислокации. Координата начала

зарождения кристалла мартенсита зависит от распространения по зерну упругих деформаций, вызванных наличием дефекта структуры. Самое важное следствие анализа кинетики превращения с позиции динамической теории — если размер зерна будет настолько мал, что в нем не поместится дислокация, то превращение не произойдет, вне зависимости от химического состава и температуры, и этот размер зерна называется критическим [1].

Все процессы, происходящие при мартенситном превращении, до сих пор заслуживают большого внимания со стороны научного сообщества для обеспечения необходимых свойств результатов деятельности производственной сферы. Описание всех механизмов превращения, прогнозирование всех явлений, происходящих во время данного процесса, позволит получить необходимые, задуманные разработчиком свойства конечного результата машиностроительных отраслей производства.

Статья подготовлена при поддержке грантов РФФИ № 14-08-00734 и 16-48-590224.

Список литературы

- 1. Исследование влияния размера зерна на температуру фазового превращения сплавов на основе железа при охлаждении до 4 К / С.А. Оглезнева, К.Л. Саенков // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. -2016. Т. 18. № 2. С. 187–199.
- 2. Курдюмов В.Г. Явления закалки и отпуска стали. М.: Металлургия, 1960. 64 с.
- 3. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение: учебник для втузов. 2-е издание., испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
- 4. Christian J.W. The Theory of Transformations in Metals and Alloys. Parts I and II, Pergamon. 2002. 3 ed. 1200 p.
- 5. Лободюк В.А. Мартенситные превращения / В.А. Лободюк, Э.И. Эстрин. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 352 с.
- 6. Эстрин Э.И. Мартенситные и «нормальные» превращения // Известия РАН. Серия физическая. -2009. Т. 73, № 9. С. 1238-1246.
- 7. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Кристаллодинамика ОЦКГПУ-мартенситного превращения. II. Морфология // Физика металлов и металловедение. -2008. T. 106, № 1. C. 16–25.
- 8. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Динамическая теория γ - α мартенситного превращения в сплавах железа и решение проблемы критического размера зерна. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2010.-132 с.
- 9. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Динамическая модель формирования двойникованных мартенситных кристаллов при γ-α-превращении в сплавах железа. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2009. 98 с.
- 10. Кащенко М.П.,Чащина В.Г. Кристаллодинамика ОЦКГПУ-мартенситного превращения. І. Управляющий волновой процесс // Физика металлов и металловедение. 2008. Т. 105, № 6. С. 571—577.

УДК 66.087:544.653.1:546.56

О МЕХАНИЗМЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ МЕДИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ТОКА

Ульянкина А.А., Смирнова Н.В.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: anya-barbashova@yandex.ru

В настоящей работе предложен механизм электрохимического формирования нанодисперсных оксидов меди под действием переменного импульсного тока; обоснованы причины ускорения этого процесса по сравнению с процессом на постоянном токе; установлены факторы, определяющие состав и морфологию продуктов; сформулированы основные принципы управления процессом электрохимического синтеза наноматериалов с заданными свойствами. Показано, что высокие значения плотности тока в импульсы, сопровождающиеся интенсивным газовыделением в результате разряда воды и изменением рН приэлектродного слоя, с одной стороны, и установление квазистационарного равновесия в паузах в отсутствие тока, с другой, интенсифицируют процесс анодного растворения меди с образованием нанодисперсных оксидов. Показано, что при низкой плотности и скважности тока формируются октаэдрические частицы Cu₂O. При повышении плотности тока создаются условия для образования CuO на поверхности Cu₂O и формирования двухслойных композитов Cu₂O/CuO, Обсуждается роль величины потенциалов, устанавливающихся на электродах в импульсы и паузы тока, рН приэлектродного пространства и концентраций ионов электролита.

Ключевые слова: оксиды меди, переменный импульсный ток, механизм, электрохимический синтез

ON MECHANISM OF NANODISPERSED COPPER OXIDES FORMATION UNDER PULSE ALTERNATING CURRENT

Ulyankina A.A., Smirnova N.V.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: anya-barbashova@yandex.ru

This article is devoted the study on mechanism of electrochemical formation of nano-copper oxides under pulse alternating current. The reasons of intensification of this process in comparison to direct current synthesis were evaluated. The conditions which effect on copper oxides composition and morphology were defined. The main principles to control the electrochemical synthesis of nanomaterials with desirable properties were represented. It was shown that high current density values in pulses which accompanied with intensive gas evolution as a result of water discharge and changing of the near-electrode pH value and quasi-stationary equilibrium in pauses without current affect the intensification of the anodic dissolution of copper with a formation of nano-copper oxides. The octahedral Cu₂O particles are formed at lower current densities. At higher values the Cu₂O decorated with CuO and Cu₂O/CuO bilayered composites formation is possible. The role of electrode potential values in pulses and pauses, near-electrode pH and ion concentration of electrolytes is discussed.

Keywords: copper oxides, pulse alternating current, mechanism, electrochemical synthesis

В настоящее время растет интерес исследователей к синтезу наноматериалов на основе оксидов металлов, в том числе оксидов меди, как в области фундаментальной, так и прикладной науки. Это обусловлено уникальными свойствами материалов в наноструктурированном состоянии и необходимостью разработки новых материалов с заданными свойствами. При этом наиболее важной задачей при разработке контролируемого метода синтеза таких материалов является понимание механизма образования частиц разных размеров и морфологии. На сегодняшний день предложены десятки способов синтеза наноразмерных оксидов меди (порошков и пленок), в том числе и электрохимических [1-3]. Ранее в наших работах [4, 5] был подробно изложен электрохимический способ получения наночастиц CuO,, основанный на окислении и диспергировании медных электродов в нейтральном растворе хлорида натрия под действием переменного импульсного тока (ПИТ-синтез). Особенностью способа является возможность управления составом и структурой наночастиц оксидов меди путем варьирования параметров тока, т.е. плотности тока и скважности импульсов. Так при плотности тока 0,5 А/см² и скважности ≤ 30 % образуются преимущественно полые октаэдрические частицы Си₂О (СиО₂-0,5). При плотности тока 1,0 А/см² и скважности 40%, формируются полиэдрические частицы Си,О, декорированные небольшими пластинчатыми частицами CuO (CuO -1,0), а при плотности тока 1,5 А/см² (скважность 50%) происходит формирование двухслойных композитов Ĉu,O/ĈuO (CuO,-1,5).

Характер тока		Постоянный ток			Переменный импульсный ток, 50 Гц							
]	Полож	ительн	ый	(Отрица	тельны	й
					I	импулн	sc .	пауза	И	мпульс		пауза
Плотность	средняя	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	_	-0,5	-1,0	-1,5	_
тока, А/см2	истинная	0,5	1,0	1,5	4,5	5,0	6,0	_	-4,5	-5,0	-6,0	_
Потенциал, В		10	11,5	12	5,5	5,6	5,8	1,0-1,2	-4,0	-4,5	-4,8	0,2-0,4

Величины потенциалов, устанавливающиеся на электродах во время синтеза

В настоящей работе рассмотрены причины формирования частиц различной морфологии и представлен наиболее вероятный механизм процесса. Экспериментальные условия синтеза и анализа продуктов детально описаны в [4].

Процесс образования Cu_2O в растворах, содержащих ионы Cl, изучен достаточно подробно [6], что обусловлено в основном проблемой коррозионной стабильности меди в морской воде [7]. Электрохимическое растворение Cu при анодной поляризации в нейтральных и щелочных растворах сопровождается образованием растворимых хлоридных комплексов меди типа $Cu-Cl_1^{n-1}$, при этом большинство исследователей считает, что n=2 [7].

$$Cu + Cl \leftrightarrow CuCl_{surf} + e^{-},$$
 (1)

$$CuCl_{surf} + Cl \leftrightarrow CuCl_{2}$$
. (2)

 ${\rm Cu_2O}$ образуется в результате реакции осаждения, а не прямого электрохимического образования из металла или хлорида меди.

$$2CuCl_{2} + 2OH_{2} \rightarrow Cu_{2}O + H_{2}O + 4Cl_{2}$$
 (3)

Константа равновесия реакции (3) $K = 10^{20}$, т.е. образование Cu_2O практически необратимый процесс [7]. При низких перенапряжениях, т.е. в области потенциалов –0,35÷–0,15 В, в 2 М NaCl при 60 °С образование CuCl-, и соответственно Cu₂O лимитируется кинетикой процесса. При более анодных потенциалах скорость образования CuCl_{surf} превышает скорость образования комплексов CuCl-, и, скорость, их диффузии от поверхности электрода в объем раствора. В дальнейшем лимитирующей становится диффузия ионов хлора из объема раствора к поверхности электрода [8]. При потенциалах выше 0,1 В уже возможно дальнейшее окисление меди до Cu (II), т.е. конкуренция реакций образования комплексов CuCl-, (2) и свободных ионов Cu^{2+} из $CuCl_{surf}$ (4), а общую скорость процесса определяет диффузия $CuCl^{-}$, и Cu^{2+} от поверхности электрода в объем раствора [9, 10].

$$CuCl_{surf} \leftrightarrow Cu^{2+} + Cl^{-} + e^{-}. \tag{4}$$

Таким образом, процесс электрохимического образования оксида меди (I) $\mathrm{Cu_2O}$ на постоянном токе стадийный, при этом скорость процесса и природа лимитирующей стадии определяются потенциалом, устанавливающимся на электроде в процессе синтеза.

Электрохимическое растворение меди в различных растворах сопровождается периодическими колебательными процессами [11]. Колебательный процесс связан с концентрационной поляризацией и омическими потерями в нарастающей на поверхности электрода пленке CuCl_{surf} или Си₂О (в зависимости от рН электролита и его состава); ее пористой структурой и полупроводниковыми свойствами [12]. При наложении переменного тока периодически изменяющаяся полярность электродов делает процесс более сложным, но существенно ускоряет его. Симметричный переменный импульсный ток (ПИТ) с относительно невысоким коэффициентом заполнения 30-50% был использован нами по нескольким причинам:

- В паузы, которые составляют 50–70% времени синтеза, система находится в квазиравновесном состоянии и потенциалы электродов стремятся к равновесным для данных условий значениям.
- При относительно невысоких средних плотностях тока 0,5–1,5 А/см² реальные пиковые значения достигают 5–6 А/см² (таблица). Это обеспечивает резкое и кратковременное выведение системы из состояния квазиравновесия и таким образом интенсифицирует процесс.

Величины потенциалов, которые устанавливаются на электродах во время синтеза, приведены в таблице.

Высокие значения плотности тока в импульсах обусловливают установление высоких потенциалов на электродах, на первый взгляд не характерных для электрохимии водных растворов — выше 5 В в положительный импульс и ниже —4 В — в отрицательный. В эти величины вносит вклад омическая составляющая, обусловленная повышением сопротивления приэлектродной области электролита за счет газонапол-

нения при выделении газообразных продуктов разложения воды с одной стороны. С другой стороны, на электроде образуется пассивная пленка, состоящая из продуктов окисления меди полупроводникового характера. Так, потенциал медного электрода при поляризации постоянным током той же плотности, что и при ПИТ синтезе, достигает 10–12 В (таблица). В некоторой степени эти значения носят качественный характер, позволяющий, однако, оценить вероятность протекания термодинамически возможных процессов электрохимического растворения меди под действием переменного импульсного тока.

Но, пожалуй, более важную информацию можно получить, анализируя величины потенциалов, устанавливающихся на электродах в периоды пауз, поскольку именно эти периоды составляют большую часть времени ПИТ синтеза. В паузах потенциалы электродов лежат в области 0,2–0,4 и 1,0–1,2 В после отрицательного и положительного импульсов соответственно (таблица) [4]. Именно при этих потенциалах идет образование CuCl вит и CuO.

В хлорид-содержащих растворах потенциал коррозии меди составляет -0.3 В (Ag/AgCl) [13]. Это означает, что даже при отсутствии тока в цепи на электродах могут идти реакции образования $\text{CuCl}_{\text{surf}}$ или комплексов меди $\text{CuCl}_{\text{-}}$, которые при взаимодействии с водой, $\text{OH}^{\text{-}}$ или другими активными кислородсодержащими частицами образуют $\text{Cu}_{\text{-}}$ О. В положительный импульс создаются условия для прямого окисления меди до $\text{Cu}_{\text{-}}$ О (5) и CuO (6).

$$2Cu + O* \leftrightarrow Cu_2O + e^-, \tag{5}$$

$$Cu_2O + O* \leftrightarrow CuO + e^-.$$
 (6)

Возможно также выделение газообразных хлора и кислорода, хотя в присутствии ионов хлора перенапряжение выделения кислорода возрастает. Однако мгновенные потенциалы достигают столь высоких значений, что следует учитывать вероятность и этого процесса. При этом локально изменяется рН приэлектродного слоя за счет образования катионов H^+ (8).

$$2Cl \rightarrow Cl_{2}\uparrow + 2e^{-}, \tag{7}$$

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-.$$
 (8)

В отрицательный импульс возможна серия восстановительных процессов.

$$CuCl_{surf} + e^{-} \leftrightarrow Cu + Cl^{-}, \qquad (9)$$

$$Cu_2O + H_2O + e^- \leftrightarrow 2Cu + 2OH^-,$$
 (10)

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \leftrightarrow Cu.$$
 (11)

Кроме того, потенциал вполне достаточен для протекания реакции восстановления кислорода (12).

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \leftrightarrow 4OH^-.$$
 (12)

Выделение водорода (13) также возможно, поскольку потенциалы и локальные плотности тока в отрицательный импульс также очень высоки.

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2\uparrow + 2OH^-.$$
 (13)

Реакции (12) и (13) сопровождаются повышением рН приэлектродного слоя, что благоприятно сказывается на процессе образования Cu₂O по реакции (3).

Кроме перечисленных реакций, которые периодически чередуются, и, соответственно, вызывают изменения в приэлектродном слое, при наложении переменного тока следует учитывать также:

- изменение структуры ДЭС;
- изменение направления диффузии ионов;
- чередование процессов кристаллизации и растворения кристаллов;
- образование пассивной пленки CuCl и CuO на поверхности, которые обладают полупроводниковыми свойствами и соответственно, влияют на распределение заряда по поверхности электрода;
- в разные моменты синтеза оказывает влияние адсорбция и десорбция анионов например Cl⁻, OH⁻ или CuCl⁻₂.
 Потенциал нулевого заряда меди

Потенциал нулевого заряда меди (ПНЗ) иногда может отличаться более чем на 0,5 В [14]. Этот параметр зависит от типа электролита и метода подготовки поверхности электрода. ПНЗ меди в нейтральных растворах близок к –0,2 В (Ag/AgCl). Однако это значение также может быть –0,1 В, что практически соответствует меди, покрытой поверхностными оксидами. Другими словами, во время синтеза поверхность меди заряжена положительно, что, в свою очередь, интенсифицирует процесс путем адсорбции на поверхности Cl и OH.

На рис. 1 показаны электрохимические и химические реакции на медном электроде, которые термодинамически и кинетически возможны в различные стадии процесса. Предлагаемая схема основана на литературных данных и измерении электродных потенциалов в процессе синтеза. В ней учтены только основные из возможных процессов, записаны они схематично в общем виде, поскольку детальный механизм любого процесса зависит от потенциала электрода, который в наших условиях циклично изменяется во времени. Однако эта схема дает представление о сложности процессов под действием ПИТ.

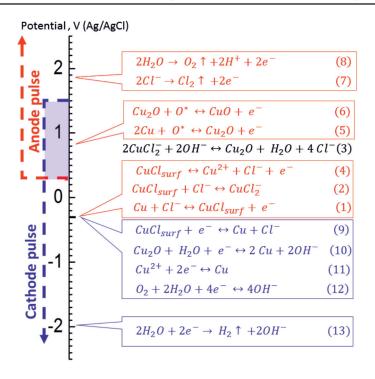


Рис. 1. Схема термодинамически и кинетически возможных электрохимических и химических реакций на медном электроде в процессе протекания переменного импульсного тока. Синие и красные пунктирные стрелки обозначают потенциалы, измеренные в положительный и отрицательный импульс соответственно. Фиолетовый прямоугольник — окно потенциалов в периоды пауз между импульсами

Во время положительного импульса, как и при наложении постоянного тока, возможно протекание следующих окислительных процессов [15, 16]:

- образование пленки $CuCl_{surf}(1)$ и комплекса $CuCl^2$ (2), который осаждается из раствора в виде $Cu_2O(3)$ в приэлектродной области при E>-0.3 B;
 - \bullet окисление CuCl_{surf} вCu²⁺ (4) при E > -0,3 В;
- прямое окисление Cu до CuO (5 и 6) при E > 0,5 B;
- разряд ионов хлора с выделением Cl_2 (7), и молекул H_2O с выделением O_2 (8) при пиковых потенциалах E > 2 B.

Во время отрицательного импульса, который начинается при E=0,25~B, протекание реакций (1)–(4) все еще возможно, но также протекают процессы восстановления, так как электродный потенциал ниже, чем потенциал коррозии меди в нейтральном растворе NaCl при $E \le -0,3~B$ [9, 10]. При этом возможны процессы:

- восстановление CuCl_{surf} Cu₂O и ионов Cu²⁺ до Cu (9), (10) и (11) соответственно;
 - восстановление кислорода (12) [6];
- выделение водорода и образование ОН $^{-}$ (13) при Е < -2 В. Этот процесс играет ключевую роль в интенсификации образо-

вания ${\rm CuO_x}$, так как пузырьки ${\rm H_2}$ обеспечивают удаление оксидных продуктов от поверхности электрода.

Для выяснения возможности контроля свойств получаемых продуктов путем изменения условий синтеза, было исследовано влияние средней плотности тока и скважности на свойства порошков оксидов меди (рис. 2).

При плотности тока 0,5 А/см² и скважности ≤30% образуются преимущественно полые октаэдрические частицы Си,О (СиО₂-0,5). В таких условиях процесс роста частиц протекает медленно, а скорости образования $CuCl_{surf}$ (2) и Cu_2O (3) соизмеримы. Под действием переменного импульсного тока пузырьки Н₂, выделяющиеся во время отрицательного импульса, не успевают вырасти, так как рост таких пузырьков главным образом протекает из-за поверхностной диффузии по механизму коалесценции [17]. Таким образом, поверхность электрода покрыта маленькими пузырьками, которые служат центрами нуклеации для Си₂О (3) в приэлектродной области в следующую паузу. В начале анодного импульса заряд поверхности электрода быстро меняется, и пузырьки водорода отрываются с образованием частиц Cu,O (рис. 2, a).

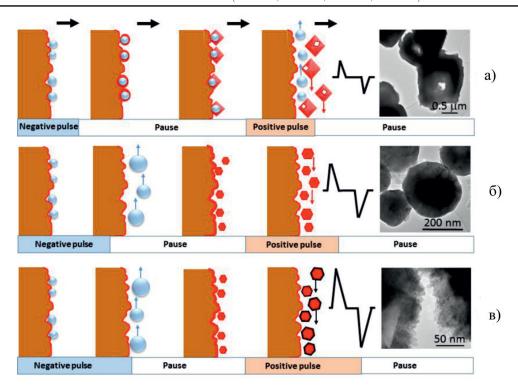


Рис. 2. Схематическое изображение СиО_х различного состава и морфологии, полученных под действием переменного импульсного тока

При плотности тока 1,0 А/см² и скважности 40% пузырьки Н, коалесцируют и отрываются от электрода во время более длинного отрицательного импульса. Си₂О кристаллизуется в растворе в приэлектродной области. Высокая истинная плотность тока обуславливает очень высокие скорости процессов и, следовательно, резкое локальное изменение концентраций реагентов в приэлектродном слое. Создаются экстремально нестационарные условия роста кристаллов. Так, в положительный импульс приэлектродный слой обедняется ионами хлора, создаются условия для прямого окисления меди до Cu₂O и CuO. И чем выше плотность тока, тем больше дефицит ионов хлора и, следовательно, больше образуется кристаллитов СиО (рис. 2, б).

При плотности тока 1,5 А/см² происходит формирование двухслойных композитов Си₂О/СиО (рис. 2, в). В этом случае импульсы длиннее (скважность 50%), при этом могут протекать окислительные процессы, ведущие к образованию небольших пластинчатых кристаллов СиО на поверхности Си₂О благодаря резкому изменению концентрации и рН в приэлектродной области [1].

В настоящей работе предложен механизм формирования нанодисперсных ок-

сидов меди под действием переменного импульсного тока; обоснованы причины ускорения этого процесса по сравнению с процессом на постоянном токе; установлены факторы, определяющие состав и морфологию продуктов. Таким образом, сформулированы основные принципы управления процессом электрохимического синтеза наноматериалов с заданными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-23-00078).

Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Нанотехнологии» Южно-Российского государственного политехнического университета имени М.И. Платова.

Список литературы

- 1. CuO nanostructures: Synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications /Zhang Q. et.al. // Progress in Materials Science. 2014. vol. 60. P. 208–337.
- 2. The anodization synthesis of copper oxide nanosheet arrays and their photoelectrochemical properties / Shu X. et al. // Applied Surface Science. 2017. vol. 412. Supplement C. P. 505–516.
- 3. Wang S.L., Li P.G., Zhu H.W., Tang W.H. Controllable synthesis and photocatalytic property of uniform CuO/Cu2O composite hollow microspheres // Powder Technology. 2012. vol. 230. Supplement C. P. 48–53.

- 4. Copper oxides for energy storage application: Novel pulse alternating current synthesis/ Ulyankina A. et al. // Materials Science in Semiconductor Processing. 2018. vol. 73. P. 111–116.
- 5. Ulyankina A., Leontyev I., Smirnova N. Electrochemical Synthesis and Photocatalytic Activity of Differently Shaped CuOx Particles // Nano Hybrids and Composites. 2017. vol. 13. P. 330–333.
- 6. Kear G., Barker B.D., Walsh F.C. Electrochemical corrosion of unalloyed copper in chloride media-a critical review // Corrosion Science. 2004. vol. 46. no. 1. P 109–135.
- 7. Ma A.L., Jiang S.L., Zheng Y.G., Ke W. Corrosion product film formed on the 90/10 copper–nickel tube in natural seawater: Composition/structure and formation mechanism // Corrosion Science. 2015. vol. 91. Supplement C. P. 245–261.
- 8. Braun M., Nobe K. Electrodissolution Kinetics of Copper in Acidic Chloride Solutions // Journal of The Electrochemical Society. 1979. vol. 126. no. 10. P. 1666–1671.
- 9. Yuan B., Wang C., Li L., Chen S. Investigation of the effects of the magnetic field on the anodic dissolution of copper in NaCl solutions with holography // Corrosion Science. 2012. vol. 58. Supplement C. P. 69–78.
- 10. Yuan B., Wang C., Li L., Chen S. Real time observation of the anodic dissolution of copper in NaCl solution with the digital holography //Electrochemistry Communications. 2009. vol. 11. no. 7. P. 1373–1376.

- 11. Potkonjak N.I., Nikolic Z., Anic S.R., Minic D.M. Electrochemical oscillations during copper electrodissolution/passivation in trifluoroacetic acid induced by current interrupt method // Corrosion Science. 2014. vol. 83. Supplement C. P. 355–358.
- 12. Cooper J.F., Muller R.H., Tobias C.W. Periodic Phenomena during Anodic Dissolution of Copper at High Current Densities // Journal of The Electrochemical Society. 1980. vol. 127. no. 8. P. 1733–1744.
- 13. Betova I., Bojinov M., Lilja C. Influence of chloride on the long-term interaction of copper with deoxygenated neutral aqueous solutions // Corrosion Science. 2013. vol. 76. Supplement C. P. 192–205.
- 14. Lukomska A., Sobkowski J. Potential of zero charge of monocrystalline copper electrodes in perchlorate solutions // Journal of Electroanalytical Chemistry. $-2004.-vol.\,567.-no.\,1.-P.\,95-102.$
- 15. Marcus P., Maurice V., Strehblow H.H. Localized corrosion (pitting): A model of passivity breakdown including the role of the oxide layer nanostructure // Corrosion Science. 2008. vol. 50. no. 9. P. 2698–2704.
- 16. Lee H.P., Nobe K. Kinetics and Mechanisms of Cu Electrodissolution in Chloride Media // Journal of The Electrochemical Society. 1986. vol. 133. no. 10. P. 2035–2043.
- 17. Zeng K., Zhang D. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications // Progress in Energy and Combustion Science. 2010. vol. 36. no. 3. P. 307–326.

УДК 621.9.025:539.37

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Фам Хоанг Чунг, Чигиринский Ю.Л., Полянчиков Ю.Н.

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, e-mail: techmash@ystu.ru

В настоящей статье приведены сведения о механических свойствах, областях применения твердых сплавов и основных видах изнашивания, а также способах снижения интенсивности износа режущего инструмента. Показано, что увеличение содержания кобальта в твердых сплавах приводит к повышению прочностных характеристик, теплопроводности и снижению твердости и износостойкости. Установлено исследованиями российских ученых существенное влияние на износ инструмента не только механических, но в первую очередь теплофизических свойств инструментальных и конструкционных материалов, поскольку в диапазоне промышленно применяемых скоростей резания причиной изнашивания инструмента являются диффузионные процессы. Определены направления уменьшения интенсивности изнашивания режущего инструмента за счет определения условий обработки, выбора инструментальных материалов и нанесения на поверхности инструмента износостойкого покрытия.

Ключевые слова: изнашивание инструмента, износостойкость инструмента, износостойкое покрытие, диффузионный процесс, промежуточный диффузионный слой, опережающее пластическое деформирование

METHODS OF INTENSITY DECREASING OF HARD ALLOY TOOL WEAR Pham Hoang Trung, Tchigirinskiy Yu.L., Polyanchikov Yu.N.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: techmash@vstu.ru

The informations about mechanical properties, fields of cemented carbide application and main types of tool wear, as well as the ways to decrease cutting tool wear intensity are provided in this article. It is shown that the cobalt content increasing in cemented carbides leads to increase strengthening characteristics, thermal conductivity and decrease hardness and wear resistance. Significant influence on the tool wear of not only mechanical, but, in the first place, thermalphysic properties of tool and structural materials is established by the researches of Russian scientists, because in the range of industrial used cutting speeds the cause of tool wear are diffusion processes. The directions of intensity decreasing of tool wear by determining the processing conditions, the choice of tool materials and wear-resistant coating on tool surface are defined.

Keywords: tool wear, tool wear resistance, wear-resistant coating, diffusion process, intermediate diffusion layer, advance plastic deformation

Удельный объем твердых сплавов в общем объеме инструментальных материалов, применяемых в современном металлообрабатывающем производстве, составляет [1] от 60% для фрезерного инструмента до 80% для токарного. При этом, наиболее часто используются одно- и двухкарбидные твердые сплавы, рассматриваемые в данной работе.

Однокарбидные сплавы группы ВК содержат 80...98% WC в качестве режущего материала. Увеличение объемного содержания связки (Со) в диапазоне от 3% (ВКЗ, ВКЗМ) до 10% (ВК10) повышает предел прочности (в 1,5 раза), коэффициент теплопроводности (до 69,3%) и коэффициент термического расширения (рис. 1) [2]. Одновременно наблюдается снижение твердости до 4,6% [3].

Допускаемая сплавами ВК критическая температура лежит в пределах 800–850 °С. Данные сплавы применяются в операциях при черновом точении, фрезеровании цветных металлов и их сплавов, неметаллических материалов, а также используются в условиях обработки при сравнительно

низких температурах резания и переменной нагрузке. При увеличении размеров зерен карбидов, по сравнению с обычными (3–5 мкм), увеличивается относительная толщина прослойки кобальтовой фазы, а как следствие, увеличивается прочность сплава. При уменьшении же размеров зерен твердость и износостойкость повышается на 2,9–20%. Стоит отметить, что получению более острой режущей кромки способствует мелкозернистый сплав инструментов.

При содержании TiC менее 15% (Т14К8, Т5К10, ...) титано–вольфрамовые твердые сплавы ТК имеют структуру, состоящую из твердого раствора WC в TiC, твердого раствора Со в WC и TiC, а также избыточных карбидов WC. Последние полностью растворяются в TiC, при том условии, что сплав содержит более 15% TiC (Т15К6, Т30К4) [2]. Сплавы ТК обладают меньшей прочностью, чем сплавы ВК (снижение до 29 –55%), при одинаковом содержании кобальтовой связки, но большей износостой-костью – до 4,5% [3], при этом их критиче-

ская температура выше, чем у сплавов ВК на 50...100°С. Существует соотношение изменения содержания TiC в разных сплавах: при его содержании от 5 до 30%, содержание кобальта составит от 4 до 12%. Так же как и у сплавов на основе WC-Co, предел прочности при изгибе и сжатии увеличивается в 1,2-1,7 раз с ростом содержания Со. Здесь же стоит отметить, что теплопроводность сплавов группы ТК, как правило, ниже в 2,4-6,7 раз, а коэффициент линейного термического расширения выше, чем у сплавов группы ВК. В связи с этим изменениям подвержены режущие свойства сплавов: с ростом содержания Со снижается износостойкость сплавов при резании, а с повышением содержания ТіС снижается эксплуатационная прочность (рис. 2) [2].

Твердые сплавы группы ТК находят свое применение для черновой, чистовой и скоростной обработки углеродистых сталей, так как повышению сопротивления адгезионно-усталостному износу, имеющему место при образовании сливной стружки при обработке сталей, способствует введение карбида титана [4]. Как правило, сплавы с большим содержанием кобальта применяются при неравномерной нагрузке, больших припусках и повышенной надежности инструмента.

В пределах одной группы сплавов теплопроводность зависит от относительного содержания карбидов и связки и зернистости карбидов и возрастает с уменьшением содержания карбидов и размеров карбидных зерен.

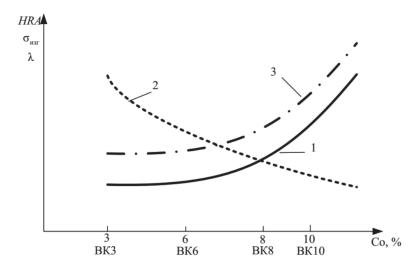


Рис. 1. Влияние объемного содержания кобальта на свойства однокарбидных твердых сплавов: 1- Прочность на изгиб $\sigma_{_{\rm usz}}$; 2- Твердость - НRA; 3- Теплопроводность $-\lambda$

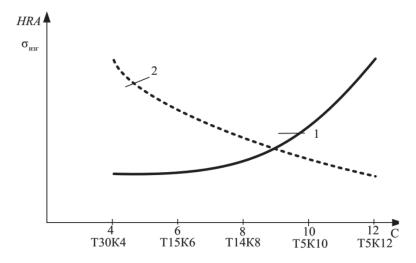


Рис. 2. Влияние содержания кобальта на механические свойства двухкарбидных твердых сплавов: 1-Прочность на изгиб $\sigma_{_{\!HS}}$; 2-Твердость -HRA

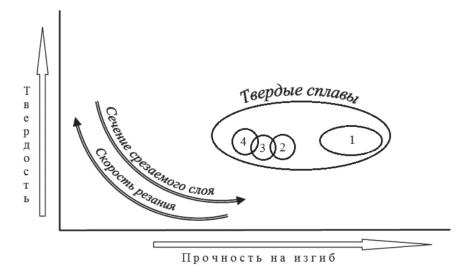


Рис. 3. Соотношение твердости и прочности на изгиб: 1 – ультрамелкозернистые твердые сплавы; 2 – группа ВК; 3 – группа ТТК; 4 – группа ТК

В отношении инструментальных материалов существует некое противоречие: наиболее твердые и более теплостойкие материалы будут обладать меньшей прочностью и стойкостью к термическим ударам, что впоследствии снизит их применимость для черновой обработки и прерывистого резания (рис. 3) [4].

Наибольшее распространение имеет износ по задней поверхности инструмента. Основными его причинами являются высокая скорость резания, недостаток смазочноохлаждающей жидкости (СОЖ), чрезмерная прочность и, как следствие, недостаточная термо- и износостойкость инструментального материала. Такой износ при чистовой обработке приводит к фактическому уменьшению заднего угла, повышению температуры в зоне резания, а также к увеличению интенсивности изнашивания инструмента и увеличению шероховатости.

Износ по задней поверхности увеличивается при черновой обработке, что неизбежно приводит к изменению геометрии, а также к появлению вибрации, повышению потребления мощности и возрастанию вероятности поломки режущей кромки. Для снижения интенсивности износа рекомендуется выбирать более подходящие сплавы с учетом требований к прочности и износостойкости, уменьшать скорость резания, а также добавлять СОЖ.

Учеными Волгоградского государственного технического университета (А.А. Бондарев, А.Р. Ингеманссон, Д.В. Крайнев, П.А. Норченко) был проведен ряд экспериментов в рамках изучения процесса из-

нашивания режущего инструмента при обработке конструкционных углеродистых и легированных сталей, были получены и проанализированы результаты при традиционном точении и при точении с опережающим пластическим деформированием (ОПД). Обнаружено, что существенному снижению износа лезвий режущего инструмента по главной задней поверхности способствует точение с ОПД, что по сравнению с традиционной обработкой сказывается на повышении производительности обработки и ресурса работоспособности инструмента (рис. 4) [1, 5].

Как правило, снизить интенсивность лункообразования, обусловленную высокими температурами на контактных поверхностях инструмента из сплавов с высоким содержанием связки, можно за счет изменения геометрических параметров режущего клина, в частности: увеличение переднего угла, использование стружколомов и стружкозавивающих канавок; и изменения условий обработки — уменьшение скорости резания, увеличение подачи, снижение объемного содержания связки в инструментальном материале.

При обработке вязких или упрочняемых конструкционных материалов, склонных к образованию сливной стружки, на режущих кромках инструмента могут образовываться [7] проточины, ослабляющие режущий клин. Такой вид износа довольно часто проявляется при черновой обработке (обработке с переменным припуском) при использовании инструмента с отрицательным передним углом и углом в плане, боль-

шим 90°. Для снижения интенсивности образования проточин рекомендуется [7] применять острозаточенные резцы с положительными или нулевыми передними углами, по возможности уменьшать главный угол в плане и обеспечивать стабильную глубину резания. Возможным средством снижения интенсивности такого вида износа может быть использование твердого сплава с износостойкими покрытиями.

Стоит отметить, что производители [7] режущего инструмента, определяя основные причины повышенного износа инструограничиваются рассмотрением механических характеристик инструментальных материалов (изгибная прочность, твердость). Однако, принимая во внимание исследования российских ученых, установлено существенное влияние не только механических, но в первую очередь теплофизических свойств инструментальных и конструкционных материалов [8, 9], поскольку в диапазоне промышленно применяемых скоростей резания, причиной изнашивания инструмента являются диффузионные процессы.

Часто высокая температура и давление, прочный/мягкий сплав, недостаток подачи СОЖ приводят к возникновению пластической деформации материала инструмента, в результате чего существует большая вероятность того, что его вершина неизбежно опустится и материал режущей части деформируется либо в направлении задней поверхности, либо в направлении обработки. Как правило, это приведет к увеличению

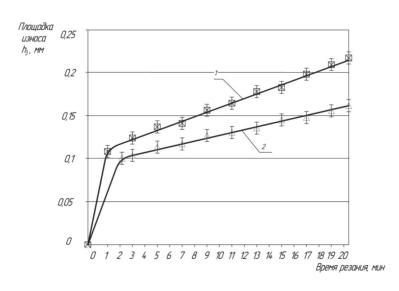
трения, а значит, и к увеличению выделяемого тепла, вследствие чего изменится геометрия режущей кромки, нарушится процесс формирования стружки, что создаст критическую ситуацию для процесса резания. Чтобы избежать этой проблемы, можно выбрать более твердый сплав и уменьшить скорость резания и подачу, а также увеличить подвод СОЖ.

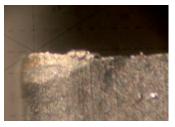
В работах Ю.М. Быкова проведено исследование влияния скорости резания и прочностных свойств обрабатываемого материала на интенсивность деформации (ползучести) рабочих поверхностей инструмента [10]. Влияние прочностных свойств обрабатываемого материала (рис. 5) и скорости резания (рис. 6) на ползучесть показано на следующих рисунках.

Из обрабатываемых сталей наиболее прочной является сталь ХВГ, наименее – ОХН1В. Видно, что с увеличением прочности стали деформация режущего клина увеличивается. С увеличением скорости обработки стали ХВГ ползучесть инструмента существенно растет (рис. 6).

Образование нароста приводит к ухудшению шероховатости обрабатываемой поверхности и выкрашиванию частиц режущей кромки при срыве нароста. Оно появляется в результате низкой скорости резания, высокой вязкости материала и отрицательной геометрии.

Решениями к этому виду износа могут быть увеличение скорости или подачи, выбор сплава с покрытием и более положительной геометрии.





Точение



Точение с ОПД ($K_{OПД} = 2$)

Рис. 4. Зависимость размера площадки износа по задней поверхности резца от времени резания (Сталь 30XMA – твердый сплав T15K6; $t_p=1$ мм; $v_p=90$ м/мин; $s_o=0.256$ мм/об (по данным источника [6])

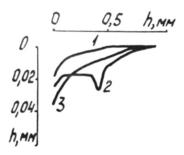


Рис. 5. Профилограммы передних поверхностей режущих пластин TT10K8E, $\tau = 40$ мин, S = 0.3 мм/об: 1 -сталь OXH1B, v = 4.2 м/с; 2 -сталь 45, v = 4.2 м/с; 3 -сталь $XB\Gamma$, v = 1.7 м/с

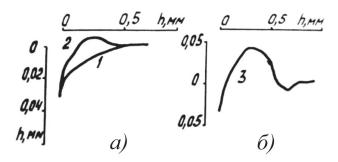


Рис. 6. Профилограммы передних поверхностей сплав ТТ10К8Б, сталь ХВГ, S=0,3 мм/об: 1-v=1,7 м/с, $\tau=45$ мин; 2-v=3,3 м/с, $\tau=8,5$ мин; 3-v=4,2 м/с, $\tau=1$ мин

По данным ряда исследований [6, 8, 9, 11] снижение интенсивности износа режущего инструмента возможно за счет определения рациональных режимов обработки, свойств инструментального и обрабатываемого материала, учет особенностей изнашивания при обработке с применением износостойких покрытий. Определены следующие направления:

1. Применение инструментов с износостойким покрытием

Для придания дополнительного упрочнения рабочих поверхностей существует ряд технологий обработки, наиболее эффективной из которых является способ нанесения на поверхность режущего инструмента специальных покрытий из твердых соединений. Благодаря ему рабочая поверхность инструмента в наибольшей ступени сопротивляется износу. Таким образом, перспективным инновационным направлением модернизации износостойких покрытий является разработка многослойных универсальных покрытий, которые позволяют учитывать сложные технологические условия процесса резания.

Наиболее распространенные причины выхода инструментов с покрытиями из строя — это деформация режущего клина и диффузионный износ покрытий. При этом в качестве матриц под покрытия сле-

дует выбрать менее пластичные твердые сплавы. В качестве покрытий необходимо применять более износостойкие соединения. Отметим, что применение инструмента с износостойкими покрытиями невозможно при черновой обработке, поскольку требует отсутствия переменных нагрузок и ударов.

2. Использование диффузионного слоя в качестве естественного покрытия

При обработке высоколегированных (титановых, кобальтовых) сталей в результате диффузионных процессов на поверхности твердосплавного инструмента при определенных условиях формируется естественное карбидное покрытие, состоящее из карбидообразующих элементов стали и элементов твердого сплава. Такой процесс препятствует износу твердого сплава по механизму прямого растворения.

3. Обработка материалов с опережающим пластическим деформированием

Стоит отметить, что применение опережающего пластического деформирования способствует снижению интенсивности износа инструмента. Это происходит как за счет снижения сил резания, так и за счет интенсивности диффузии между атомами железа и структуры твердого сплава. При этом стойкость инструмента значительно возрастает от 25 до 100%.

Таким же образом резание с опережающим пластическим деформированием способствует значительному снижению шероховатости поверхности (в большинстве случаев от 2 до 4 раз), что, как правило, предоставляет возможность сокращения числа технологических переходов, а также улучшению микропрофиля поверхности (в частности, увеличивается длина опорной линии).

Выше были сформулированы и представлены конкретные рекомендации касающиеся назначения режимов резания с опережающим пластическим деформированием. За основополагающие критерии при назначении режимов выбраны: минимальный поверхностный относительный износ и минимальная шероховатость обработанной поверхности.

Список литературы

- 1. Классификация инструментальных материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://studopedia.ru/4_17307_klassifikatsiya-instrumentalnihmaterialov.html (дата обращения: 12.11.2017).
- 2. Герасимова Н.С. Инструментальные материалы: учеб. пособие / Н.Н. Герасимова // Моск. гос. тех. ун–т им. Н.Э. Баумана. М.: Калуга, 2016. 64 с.
- 3. Твердые сплавы. Марки твердых сплавов. Применение твердых сплавов [Электронный ресурс]. Режим

- доступа: http://yaruse.ru/posts/show/id/949 (дата обращения: 12.11.2017).
- 4. Зубков Н.Н. Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов / Н.Н. Зубков // Начное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: Наука и образование, 2013.-26 с.
- 5. Норченко П.А. Повышение эффективности процесса резания нержавеющих сталей аустенитного класса с опережающим пластическим деформированием: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.07 / Норченко П.А. Волгоград, 2010. 127 с.
- 6. Бондарев А.А. Исследование влияния опережающей пластической деформации на эффективность процесса резания конструкционных сталей: дис. ...канд. техн. наук: 05.02.07 / Бондарев А.А. Волгоград, 2016. 175 с.
- 7. Система «Промышленные каталоги» / Industrial catalogs // Lab2U [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://lab2u.ru (дата обращения: 12.11.2017).
- 8. Липатов А.А. Закономерности процесса резания высоколегированных сталей и пути повышения работоспособности твердосплавного инструмента: дис. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / Липатов А.А. Волгоград, 1987.-256 с.
- 9. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания изнашивания и разрушения инструмента. М.: Машиностроение, 1992. 240 с.
- 10. Быков Ю.М. Исследование закономерностей износа твердосплавного инструмента с износостойким покрытиями с целью повышения его работоспособности: дис. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / Быков Ю.М. Волгоград, 1983. 253 с.
- 11. Чигиринский Ю.Л. Features of Processing of Corrosion Resistant Steels / Ю.Л. Чигиринский, Хоанг Чунг Фам, А.А. Липатов // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. C. 598—602.

УДК 004.021

БЕНЧМАРКИНГ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГРАФОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Фирсов М.И., Целых А.А.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: tselykh@sfedu.ru

В данной статье методом бенчмаркинга на эталонных графовых наборах данных сравниваются распространенные алгоритмы кластеризации графов с использованием таких метрик качества, как F-мера, модулярность, нормализованный и относительный разрезы графа. Содержится описание проведенного эксперимента, в котором шестью алгоритмами были обработаны 18 эталонных графов, разделенных на подгруппы на основе средней степени графа. Отдельно рассматривались графы, для которых известно истинное разбиение на кластеры. Представлены несколько подходов к решению отдельно взятой задачи кластеризации с учетом специфики задач принятия решений, которые часто характеризуются неоднозначностью результатов кластеризации. Рассматриваемые алгоритмы реализованы в библиотеках Lightcluster и Igraph на языке программирования Руthon. По результатая эксперимента выявлены наиболее результативные и универсальные алгоритмы, сделаны содержательные выводы.

Ключевые слова: кластеризация графов, бенчмаркинг, сравнение алгоритмов, принятие решений

BENCHMARKING GRAPH CLUSTERING ALGORITHMS FOR DECISION SUPPORT PROBLEMS

Firsov M.I., Tselykh A.A.

Southern Federal Unuiversity, Rostov-on-Don, e-mail: tselykh@sfedu.ru

In this paper, we use benchmarking method on reference graph datasets in order to evaluate common graph clustering algorithms using such quality measures as F-measure, modularity, normalized cut, and ratio cut. We describe an experiment where we applied six algorithms to process 18 reference graphs divided into subgroups based on the average degree of the graph. We individually consider graphs with a known true partitioning into clusters. We consider several approaches to a certain clustering problem taking into account the specifics of decision support tasks often described as ambiguous. Algorithms under estimation are implemented in Lightcluster and Igraph libraries for Python. Summarizing the results of experiment we identify the most effective and versatile algorithms and provide a meaningful conclusion.

Keywords: graph clustering, benchmarking, algorithm evaluation, decision making

Большой практический и академический интерес к методам принятия управленческих решений активно способствовал становлению и развитию теории и практики кластерного анализа на графах [1]. Широкий и постоянно растущий спектр прикладных задач сформировал устойчивый запрос на алгоритмы для взвешенных, ориентированных, знаковых и нечетких графов, а также графов причинно-следственных связей, отличительными характеристиками которых являются большая размерность и наличие циклов. В данной работе предпринята попытка методом бенчмаркинга - эталонного сопоставления на известных наборах данных [2] - выявить алгоритмы, эффективные с учетом современной динамики теоретико-графовых моделей данных

Для понятия «кластер», «когезионная подгруппа» или «сообщество» существует ряд различных и иногда противоречивых определений. Объединяет их понятие группы тесно связанных между собой узлов, которая, в свою очередь, слабо связана с остальной частью сети. Любая функция качества для назначения узлов в сообще-

ства следует простому принципу: объединить все, что связано, и не разделять то, что связано не явно.

Для решения этой задачи ряд алгоритмов требует указания на входе параметров, таких как количество кластеров и разного рода пороговых значений. Другие алгоритмы не используют входных параметров либо вычисляют их самостоятельно.

Ряд существующих методов позволяет формировать пересекающиеся кластеры, которые допускают вхождение одной вершины сразу в несколько сообществ. Отдельные алгоритмы работают с понятием «шума» – точками, которые не принадлежат ни одному из кластеров. Многие алгоритмы кластеризации допускают существование аутлаеров – кластеров с единственной вершиной.

Растущий интерес к парадигме больших данных подчеркивает значение вычислительной сложности и времени работы алгоритмов.

В нашем эксперименте мы постарались охватить все типы алгоритмов, перечисленные выше.

Материалы и методы исследования

Для эксперимента были взяты 18 графовых наборов данных с различным соотношением числа вершин и дуг, а также различным распределением весов на дугах.

Для части графов известно истинное разбиение на кластеры, для другой части — нет. Графы с известным разбиением на кластеры были выделены в отдельную группу. Оставшиеся графы были разбиты на две равные группы: в одну попали графы, средняя степень которых не превышает двух, в другую — графы с более плотными связями между вершинами. Характеристики графов представлены в таблице.

После формирования эталонных графовых наборов данных были определены алгоритмы кластеризации для эксперимента.

Часть алгоритмов, а именно SCAN, Spectral, LPA и Walktrap, реализована в библиотеке Lightcluster. Алгоритмы Infomap и Spinglass реализованы в библиотеке Igraph. Обе библиотеки написаны для языка программирования Python.

Все алгоритмы, за исключением алгоритма LPA, используют в своей работе различные входные параметры.

Алгоритм Infomap использует механизм случайного блуждания [3]. Проблема изоляции сообществ в графе понимается как задача кодирования пути, через который пройдет путник, с минимизацией длины присвоенного кода. У каждого сообщества есть свой собственный уникальный двоичный код. В сообществе у каждой вершины есть свой собственный уникальный внутренний код, у вершин из различных сообществ может быть тот же самый код. Кроме того, есть дополнительный код завершения, который не соответствует главным кодам в этом сообществе. Кодирование пути происходит следующим образом: когда вершина попадает в другое сообщество, его

код и внутренний код вершины фиксируются. Когда вершина переходит к другому сообществу, пишется код завершения для этого сообщества и код для нового, то есть кодирование происходит на сообществах и вершинах.

В основе алгоритма LPA или LabelPropagation лежит следующий принцип [4]: узел принадлежит сообществу, которому принадлежит большинство соседей. В начале расчета каждый кластер состоит из одной вершины. Далее метки кластеров пересчитываются итеративно. На каждом шаге вершины случайным образом перетасовываются, и вершины обновляют свои идентификаторы согласно меткам соседних вершин. Процесс завершается, когда каждая вершина оказывается с той же самой меткой, что и наибольшее число ее соседей. Можно видеть, что при использовании параметров по умолчанию первоначальное распределение вершин происходит случайным образом, что может приводить к разным результатам при нескольких расчетах.

Для алгоритма SCAN требуется задать количество смежных с вершиной вершин (μ), а также радиус соседства (ϵ). На основе этих двух параметров вычисляется плотность кластера [5]. Данный алгоритм позволяет выделить пересекающиеся кластеры, а также шум.

Алгоритм Spectral основан на нахождении собственных значений матриц, связанных с графом, и собственных векторов лапласиана графа [6]. Далее применяются известные алгоритмы кластеризации, например, k-средних.

Алгоритм Walktrap также использует метод случайного блуждания на графах. Идея состоит в том, что при случайном блуждании по графу вероятность остаться в одном кластере значительно выше, чем выйти за пределы этого кластера, поскольку между кластерами проходит меньше ребер, чем их насчитывается в кластере [7].

Описание графовых наборов данных для бенчмаркинга

No	Набор данных	Число вершин	Число	Средняя степень
П/П			ребер	графа
1.1	Dolphins	62	159	5,13
1.2	Football	115	613	10,66
1.3	Sustainable Banking	167	187	1,12
1.4	Zachary Karate Club NEW	34	156	4,59
2.1	Performance 15	15	19	1,27
2.2	Benefits 14	14	19	1,36
2.3	Наркоугрозы безопасности мегаполиса	25	35	1,40
2.4	Политика президента Малайзии	24	34	1,42
2.5	Deployment 19	19	28	1,47
2.6	Политика президента Южной Кореи	31	47	1,52
2.7	Training 17	17	27	1,59
3.1	Crime	7	15	2,14
3.2	Социально-экономическое развитие Кронштадта	37	86	2,32
3.3	Uni_reresearch	9	23	2,56
3.4	Качество системы нематериальной мотивации	46	252	5,48
3.5	Качество корпоративного управления	75	411	5,48
3.6	Качество корпоративной культуры	72	531	7,38
3.7	celegansneural	297	2345	7,90

Алгоритм Spinglass используется понятие спинового стекла из физики, когда при намагничивании частицы получают отрицательный или положительный заряд или спин. Как известно, при нагревании ферромагнитные сплавы теряют свое свойство, и заряды частиц в сплаве уравновешивают общее состояние магнитного поля. При понижении температуры ферромагнетик вновь обретает свое свойство, при этом частицы группируются позарядно, положительно заряженные — с положительно заряженными, а отрицательно заряженные — с отрицательными. Данный метод работает с ориентированными графами и учитывает веса дуг [8].

Для оценки эффективности и сравнения алгоритмов между собой нами использовались следующие метрики качества.

Для оценки кластеризации графов с известным разбиением можно использовать F-меру Ван Ризенбергена (F1 score, F score), которая нашла широкое применение в теории информационного поиска [9]. Эта характеристика, которая позволяет дать оценку одновременно по точности (precision) и полноте (recall). В контексте задачи кластеризации точность это число вершин, попавших в кластер, соответствующий истинному кластеру, деленное на общее число вершин в истинном кластере, в то время как полнота - это число вершин, попавших в кластер, соответствующий истинному кластеру, деленное на общее число вершин в кластере. F-мера может быть интерпретирована как взвешенное среднее этих двух метрик, которое изменяется в диапазоне от единицы до нуля, где 1 – это наилучший результат.

Сложнее оценить качество кластеризации в случае, когда истинное разбиение неизвестно.

Модулярность – относительно новая, но популярная метрика была предложена М. Гирваном и М. Ньюманом [10]. Значение метрики лежит на интервале между 0,5 и 1, рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left(A_{ij} - \frac{d_i d_j}{2m} \right) \delta(C_i C_j),$$

где A — матрица смежности, $A_{ij}\left(i,j\right)$ — элемент матрицы, d_i — степень i-й вершины, Ci — кластер, в котором находится вершина, m — количество дуг в графе. $\delta(C_i,C_i)$ = 1, если Ci = C_i , в противном случае 0.

Преимущество модулярности состоит в том, что достаточно легко рассчитать прирост модулярности в случае перемещения некоторого количества вершин между кластерами, не пересчитывая заново метрику.

Удалив все ребра между полученными кластерами, мы получим два незавизимых подграфа или так называемый разрез графа [2]:

$$cut(\hat{C}_i,...,\hat{C}_{N_{\hat{C}}}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N_{\hat{C}}} \sum_{i \in \hat{C}_k, \ i \in \hat{C}_k} \omega_{ij}.$$

Нормализовав группы вершин на объем занимаемый ими в графе, мы получим нормализованный разрез графа (Normalized Cut):

$$NormalizedCut\Big(\hat{C}_{i},...,\hat{C}_{N_{\hat{C}}}\Big) \!=\! \sum_{i=1}^{N_{\hat{C}}} \frac{cut\Big(\hat{C}_{i},V \setminus \hat{C}_{i}\Big)}{vol\Big(\hat{C}_{i}\Big)}.$$

Идея относительного разреза (Ratio Cut) графа состоит в том, чтобы заменить значение $vol(\hat{C}_i)$ каждого блока его размером – количеством вершин

графа $\left| \hat{C}_i \right|$. В этом случае мы можем описать относительный разрез следующей формулой:

$$RatioCut(\hat{C}_{i},...,\hat{C}_{N_{\hat{C}}}) = \sum_{i=1}^{N_{\hat{C}}} \frac{cut(\hat{C}_{i},V \setminus \hat{C}_{i})}{\left|\hat{C}_{i}\right|}.$$

Заметим, что указанные метрики в базовой постановке неприменимы для оценки качества пересекающихся кластеров, требуется их модификация.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе результатов на основе модулярности (рис. 1) можно выделить графы, хорошо поддающиеся кластеризации, и графы с плохой или неудовлетворительной кластеризацией. Графы *Uni reresearch*, Crime, «Качество системы нематери-альной мотивации», «Качество корпо-ративной культуры», «Качество корпоративного управления» и Performance продемонстрировали плохую тенденцию разбиения на подграфы, что может говорить о некоторой структурной особенности этих графов, затрудняющей их кластеризацию. Все вышеперечисленные графы находятся во второй подгруппе, то есть в той группе графов, средняя степень которых выше двух. В то же время графы dolphins, «Политика президента Южной Kopeu», Deployment, Sustainable Banking и football поддаются более качественному разбиению.

Из всех алгоритмов, представленных в статье, наилучшие результаты показали алгоритмы *Spinglass* и *Walktrap*. При этом метод *Spinglass* демонстрирует лучший показатель по метрике *Modularity* относительно метода *Walktrap*.

Метод Spectral в целом показал хорошие результаты, за исключением графа Sustainable Banking. Кроме того, следует отметить нестабильность этого метода относительно других алгоритмов. Большую нестабильность можно наблюдать только у алгоритма SCAN, единственного из алгоритмов, который работает с пересекающимися кластерами.

В силу особенностей метрик Ratio Cut и Normalized Cut верхняя граница метрик не определена, что затрудняет визуальное восприятие графиков при оценке качества разбиения на кластеры.

На графах, для которых было известно истинное разбиение (рис. 2), алгоритм Spinglass не потерял своих позиций, достаточно точно распределив вершины по кластерам и даже добившись идеального разбиения в графе Zachary Karate Club, что можно объяснить небольшим количеством идеальных кластеров на выходе.

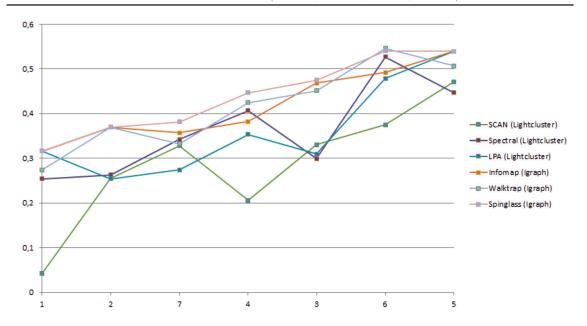


Рис. 1. Значения метрики модулярности для графов со степенью больше 2

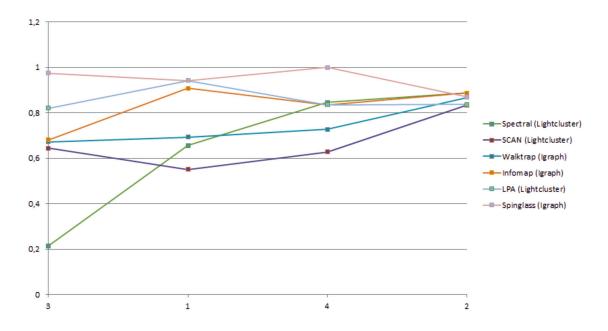


Рис. 2. Значения метрики F-мера для графов с известным разбиением на кластеры

В то же время метод Walktrap не попал в первую тройку. Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, мы не задавали в данном случае алгоритму явных значений входных параметров, позволив ему вести расчет с параметрами, которые он вычислял самостоятельно. Вторая причина может заключаться в том, что данный алгоритм вычисляет результат, подбирая оптимальное значение метрики модуляр-

ности, в то время как в графах, моделирующих реальную практическую ситуацию, значение метрики модулярности может отличаться от идеального.

Метод Spectral для графов с известным разбиением показал худший результат, особенно на модели Sustainable Banking.

Особенно нужно выделить алгоритм SCAN, еще одного аутсайдера. Эталонные графы были выбраны нами с расчетом

того, что не имеют вершин, принадлежащих одновременно нескольким кластерам. Метод SCAN, ориентированный на выявление пересекающихся кластеров, выделил много именно таких пересекающихся кластеров.

Заключение

В этой статье мы рассмотрели основные типы алгоритмов кластеризации графов. Оценка эффективности и сравнение алгоритмов проводились на основе таких метрик качества, как F-мера, модулярность, нормализованный и относительный разрезы графа. В ходе эксперимента шестью алгоритмами была произведена обработка 18 эталонных графов, разделенных на подгруппы на основе средней степени графа, отражающей сложность отношений между вершинами.

На основе результатов эксперимента может быть сделано заключение о том, что среди представленных алгоритмов кластеризации нет универсального алгоритма, который бы значительно опередил остальные на всех наборах данных. Лидерами бенчмаркинга являются алгоритмы Spinglass и Walktrap. Алгоритм SCAN несколько выбивается из общего ряда алгоритмов и стоит особняком в данном эксперименте. Можно также выделить алгоритм Spectral, получивший высокие оценки на большинстве графов.

При анализе значений метрик качества мы отметили, что при одинаковом разбиении на кластеры получались разные оценки качества кластеризации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке $P\Phi\Phi U$ в рамках научного проекта N 17-01-00243.

Список литературы

- 1. Миркин Б.Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений: обзор / Б.Г. Миркин. М.: Изд. дом Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2011.-88 с.
- 2. Силин И., Панов М. Обзор и экспериментальное сравнение алгоритмов кластеризации графов. // Информационные технологии и системы 2015: Сборник трудов 39-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН (Сочи, 07–11 сентября 2015 г.) М.: Изд-во Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, 2015. С. 1042–1059.
- 3. Rosvall M., Axelsson D., Bergstrom C.T. The map equation // The European Physical Journal-Special Topics. 2009. No. 178. P. 13–23.
- 4. Raghavan U.N., Albert R., Kumara S. Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks. URL: https://arxiv.org/abs/0709.2938 (дата обращения: 05.11.2017).
- 5. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. KDD'96 Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 1996. P. 226–231.
- 6. Luxburg U.V. A Tutorial on Spectral Clustering // Statistics and Computing. 2007. No. 17(4). P. 395–416.
- 7. Latapy P., Pons P. Computing Communities in Large Networks // Journal of Graph Algorithms and Applications. 2006. Vol. 10, No. 2. P. 191–218.
- 8. Reichardt J., Bornholdt S. Statistical Mechanics of Community Detection. URL: https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0603718v1.pdf html (дата обращения: 05.11.2017).
- 9. Powers D.M.W. Evaluation: from Precision, Recall and F-measure to ROC $/\!/$ Journal of Machine Learning Technologies. Vol. 2. P. 37–63.
- 10. Girvan M., Newman M.E.J. Community structure in social and biological networks // Proc Natl Acad Sci USA. 2002. Vol. 99, No. 12. P. 7821–7826.

УДК 004.738

НАХОЖДЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ ПРОТОКОЛА ТИПА X.25 С КУМУЛЯТИВНОЙ КВИТАНЦИЕЙ В АСИММЕТРИЧНОМ РАДИОТРАКТЕ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ТРЕБУЕМОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ И ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ МНОГОПАКЕТНОГО СООБЩЕНИЯ

Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Лягин М.А.

Военная академия PBCH имени Петра Великого, филиал, Серпухов, e-mail: varvsn-serp@mil.ru

Рассматривается асимметричный радиотракт передачи данных типа «точка – точка», включающий прямое и обратное направления, которые однородны по вероятности битовой ошибки. При этом в данном тракте реализован протокол доставки многопакетных сообщений типа X.25 с кумулятивной квитанцией. Многопакетное сообщение на передающей стороне разделяется на совокупность пакетов, а на приемной стороне данная совокупность пакетов объединяется в общее сообщение, выдаваемое получателю. Квитирование совокупности принятых пакетов осуществляется по обратному каналу кумулятивной квитанцией. На основе поглощающих конечных марковских цепей строится математическая модель процесса доставки многопакетного сообщения произвольного размера по данному радиотракту передачи данных, учитывающая все системные параметры прямого и обратного каналов. На этой основе находятся вероятностно-временные характеристики процесса доставки, характеризующие свойство своевременности. При этом искомый процесс описывается ситуационными двудольными графами, которые учитывают количество передаваемых кадров, количество повторов каждого кадра, применение способа «скользящего окна» и при этом содержат два поглощающих состояния: состояние доведения и состояние недоведения. Показывается, что такой тип графа позволяет получать вероятности поглощающих состояний в аналитическом виде, что, в свою очередь, позволяет применять известные методы оптимизации параметров процесса доставки при ограничениях заказчика на вероятностно-временные характеристики при минимальных скоростных затратах прямого и обратного каналов рассматриваемого радиотракта. В ходе исследований показано, что разработанный научно-методический аппарат адекватно описывает процесс доставки многопакетных сообщений в рассматриваемой системе передачи данных, работающей по протоколу типа X.25 с кумулятивной квитанцией, и позволяет найти границы применимости данного протокола.

Ключевые слова: протокол X.25, информационный обмен, система передачи данных, решающая обратная связь, многопакетное сообщение, кумулятивная квитанция, границы применимости

FINDING OF BORDERS OF APPLICABILITY OF THE REPORT OF TYPE X.25 WITH THE CUMULATIVE RECEIPT IN THE DISSYMETRIC RADIO PATH OF DATA TRANSMISSION AT DEMANDED RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DELIVERY OF THE MULTIPACKAGE MESSAGE

Tsimbal V.A., Toiskin V.E., Lyagin M.A.

Military Academy of Strategic Missile Forces of Peter the Great, branch, Serpukhov, e-mail: varvsn-serp@mil.ru

The asymmetric radio path of data transmission of type «the point-point», including direct and return directions which are homogeneous for probability of a bit error is considered. Thus, in the given path the report of delivery of multipackage messages of type X.25 with the cumulative receipt is realised. The multipackage message on the transferring party is divided into set of packages, and on the reception party the given set of packages unites in the general message which is given out to the addressee. Kvitirovanie sets of the accepted packages it is carried out on the return channel by the cumulative receipt. On the basis of absorbing final markov's chains the mathematical model of process of delivery of the multipackage message of any size on the given radio path of the data transmission, considering all system parametres of direct and return channels is under construction. On this basis there are is likelihood-time characteristics of process the deliveries characterising property of timeliness. Thus required process is described situational two part by columns who consider quantity of transferred shots, quantity of repetitions of each shot, application of a way of «a sliding window» and thus contain two absorbing conditions: a condition of finishing and a condition unfinishings. It is shown that such type of the count allows to receive probabilities of absorbing conditions in an analytical kind that, in turn, allows to apply known methods of optimisation of parametres of process of delivery at restrictions of the customer on is likelihood-time characteristics at the minimum high-speed expenses of direct and return channels of a considered radio path. During researches it is shown that the developed scientifically-methodical device adequately describes process of delivery of multipackage messages in considered system of the data transmission working under the report of type X.25 with the cumulative receipt and also allows to find borders of applicability of the given report.

Keywords: report X.25, an information exchange, data transmission system, solving feedback, the multipackage message, the cumulative receipt, applicability borders

В данном исследовании рассматривается радиотракт передачи данных направления «борт – земля», предназначенный для доставки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) дискретного сообщения значи-

тельной ёмкости в центр управления полетами (ЦУП), причем доставка должна быть реализована с высокой своевременностью, оцениваемой вероятностно-временными характеристиками (ВВХ). Отметим, что

под BBX понимается вероятность доставки фиксированного объема информации за время, не превышающее заданное [1–4].

Рассматриваемый радиотракт является двусторонним, содержащим прямой и обратный канал передачи данных (КПД), при этом по прямому КПД передаются пакеты (кадры), а по обратному — кумулятивные квитанции на совокупности успешно принятых пакетов (кадров). Длина кадра $L_{\rm k}$ гораздо больше длины квитанции $L_{\rm kg}$, поэтому

прямой КПД должен быть высокоскоростным, а обратный КПД – низкоскоростным. Таким образом, рассматриваемый радиотракт является асимметричным трактом передачи данных (АТПД) [4, 5].

Ставится и решается задача нахождения минимально достаточных скоростей в прямом и обратном АТПД, обеспечивающих заданные BBX доставки объема информации I, представленного в виде МПС. Формальная постановка задачи имеет вид

Найти:

$$\{V *_{\Pi \Pi(\Pi p)}, V *_{\Pi \Pi(O \delta p)}\} = \underset{\{V_{\Pi \Pi(\Pi p)}, V_{\Pi \Pi(O \delta p)}\}}{\operatorname{argmin}} \left(V_{\Pi \Pi(\Pi p)} + V_{\Pi \Pi(O \delta p)}\right) \tag{1}$$

при ограничениях на BBX доведения МПС общей емкостью I бит, $P_{\scriptscriptstyle{\text{дов}}}(t \leq T_{\scriptscriptstyle{\text{дов}}}^{\scriptscriptstyle{\text{доп}}}) \geq P_{\scriptscriptstyle{\text{дов}}}^{\scriptscriptstyle{\text{треб}}}$

где $P_{\text{дов}}^{\text{треб}}$ — требуемая вероятность доведения МПС; $T_{\text{дов}}^{\text{доп}}$ — допустимое время доведения МПС; $P_{\text{дов}}(t \leq T_{\text{дов}}^{\text{доп}})$ — вероятность доведения МПС за время, не превышающее $T_{\text{дов}}^{\text{доп}}$.

Использование кумулятивной танции предусматривает использование «скользящего окна», под которым понимается количество кадров (пакетов), которое можно передать без квитирования в зависимости от помеховой обстановки. Согласно ГОСТ Р. 34.950-92 в протоколе X.25 предусматриваются различные факультативные услуги, позволяющие на пакетном уровне синтезировать систему передачи данных (СПД), по ВВХ удовлетворяющую требованиям заказчика. Перед сеансом связи между абонентами происходит согласование параметров управления потоком, которыми являются размер пакета и размер окна («скользящего окна»). Использование данной факультативной услуги доступно на определенный период времени для виртуальных соединений (если она абонирована). По умолчанию стандартным значением размера окна в рассматриваемом протоколе является и = 2 кадрам. Также существует возможность установки нестандартных значений окна при использовании соответствующей факультативной услуги. Значения, отличные от рекомендуемых размеров окна, могут быть согласованы для каждого виртуального соединения. В нашем случае таковыми виртуальными соединениями являются прямой и обратный КПД. В данном исследовании длина «скользящего окна» равна $u_{sk} = 5$. Количество повторов каждого передаваемого кадра - g = 1 и g = 3.

Теоретической основой для исследования процесса доставки многопакетного сообщения (МПС) по протоколу X.25 с кумулятивной квитанцией фиксированной величины приняты поглощающие конечные

марковские цепи (ПКМЦ) [5–7]. При этом для описания искомого процесса используются ситуационные двудольные графы, содержащие совокупность переходных состояний и два поглощающих состояния, одно из которых является состоянием недоведения сообщения (неуспеха), а второе — состоянием доведения сообщения (успеха) [8]. Для удобства пользования таким подходом в исследовании приняты следующие обозначения для анализируемой СПД: «u_{sk} -u-g», где u_{sk} — размер «скользящего окна»; и — количество кадров, на которое делится исходный массив информации; g — допустимое количество повторов каждого передаваемого кадра.

Для решения задачи (1) рассмотрим СПД типа 5-5-1, в которой используется «скользящее окно» длиной в пять кадров, доставка которых квитируется кумулятивной квитанцией. При этом обозначим БПЛА как ЗПД-отправитель, а ЦУП как ЗПД-получатель.

Ситуационный двудольный граф, отображающий процесс доставки пятипакетного МПС с кумулятивной квитанцией, представлен на рис. 1. Семантика состояний этого графа, такова: $S_1 - 3\Pi$ Д-отправитель выдало пять кадров, которые на ЗПД-получателе не приняты; S, - ЗПД-получатель приняло переданные пять кадров и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S₃ – ЗПД-получатель приняло четыре из пяти переданных кадров и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; $S_{_{\!\scriptscriptstyle A}} - 3\Pi$ Д-получатель приняло три из пяти переданных кадров и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S₅ – ЗПД-получатель приняло два из пяти переданных кадров и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S₆ – ЗПД-получатель приняло один из пяти переданных кадров и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S₇ - фиктивное состояние, обозначающее завершение времени

передачи пяти очередных кадров и переход к покадровой передаче; S_{s} – $3\Pi \hat{\mathcal{I}}$ -отправитель выдало очередной кадр из пяти оставшихся, которые на ЗПД-получателе не приняты; S_{o} – ЗПД-получатель приняло очередной кадр и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S_{10} – фиктивное состояние, обозначающее завершение времени передачи очередного кадра; $S_{11} - 3\Pi$ Д-отправитель выдало кадр из четырех оставшихся, которые на ЗПДполучателе не приняты; $S_{12} - 3\Pi Д$ -получатель приняло очередной кадр и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S_{13} – фиктивное состояние, обозначающее завершение времени передачи очередного кадра; $S_{14} - 3\Pi Д$ отправитель выдало очередной кадр из трех оставшихся, которые на ЗПД-получателе не приняты; $S_{15} - 3\Pi Д$ -получатель приняло очередной кадр и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S_{16} – фиктивное состояние, обозначающее завершение времени передачи очередного кадра; $S_{17} - 3\Pi \bar{\mathcal{A}}$ -отправитель выдало очередной кадр из двух оставшихся, которые на ЗПД-получателе не приняты; S_{18} – ЗПД-получатель приняло очередной кадр и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S_{19} – фиктивное состояние, обозначающее завершение времени передачи очередного кадра; S_{20} – ЗПД-отправитель выдало последний оставшийся кадр, который на ЗПДполучателе не принят; $S_{21} - 3\Pi \ddot{Д}$ -получатель приняло очередной кадр и выдало в ответ кумулятивную квитанцию; S_{22} – фиктивное состояние, обозначающее завершение времени передачи очередного кадра; $S_{23} - 3\Pi J$ отправитель квитанцию не получило, канал, по которому была передача, бракуется; S_{24} – ЗПД-отправитель квитанцию получило, передача кадров завершена.

В рассматриваемом графе состояния S_7 , S_{10} , S_{13} , S_{16} , S_{19} , S_{22} , являются фиктивными, и вероятности перехода в последующие из них состояния определяются так: $p_{78} = p_{1023} = p_{1323} = p_{1623} = p_{1923} = p_{2223} = 1$. При этом в рассматриваемом графе недоведению кадра соответствует состояние S_{23} , а доведению кадра — состояние S_{24} .

Вероятность доставки одного кадра за один повтор, а также вероятность доведения квитанции о правильности доставки переданных кадров рассчитываются по следующим формулам [8, 9]:

$$p_{\kappa} = (1 - p_0)^{L_{\kappa}}, \qquad (2)$$

$$p_{KB} = (1 - p_0)^{L_{KB}}, (3)$$

где $L_{_{\rm K}}$ — длина кадра, $L_{_{\rm KB}}$ — длина кумулятивной квитанции. Отметим, что помехоустойчивое кодирование здесь не учитывается, что не влияет на общность подхода.

Переходные вероятности МПВ находятся так. Переход из состояния S_1 в состояние S_2 возможен тогда, когда пять кадров, переданные ЗПД-отправителем, получены на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{12} = C_5^5 p_{\rm k}^5 (1-p_{\rm k})^0$.

Переход из состояния S_1 в состояние S_3 возможен тогда, когда четыре из пяти кадров, переданных ЗПД-отправителем, получены на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{13} = C_5^4 p_{\kappa}^4 (1 - p_{\kappa})^{1}$. Переход из состояния S_1 в состояние S_4 возможен тогда, когда три из пяти кадров, переданных ЗПД-отправителем, получены на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{14} = C_5^3 p_{\rm k}^3 (1-p_{\rm k})^2$. Переход из состояния S_1 в состояние S_5 возможен тогда, когда два из пяти кадров, переданных ЗПД-отправителем, получены на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{15} = C_5^2 p_{\kappa}^2 (1 - p_{\kappa})^3$. Переход из состояния S_1 в состояние S_6 возможен тогда, когда один из пяти кадров, переданных ЗПД-отправителем, получен на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{15} = C_5^1 p_{\kappa}^1 (1 - p_{\kappa})^4$. Переход из состояния S_1 в состояние S_7 возможен тогда, когда ни один из пяти кадров, переданных ЗПДотправителем, не получен на приемной стороне. Вероятность такого события равна: $p_{17} = C_5^0 p_{\kappa}^0 (1 - p_{\kappa})^5$.

Вероятности успеха p_{κ} и неуспеха q_{κ} доставки очередного пакета без использования «скользящего окна», а также доведения $p_{\kappa B}$ (недоведения $q_{\kappa B}$) кумулятивных квитанций находятся по формулам (2) и (3):

$$\begin{split} p_{89} &= p_{1112} = p_{1415} = p_{1718} = p_{2021} = p_{\kappa}, \\ p_{810} &= p_{1113} = p_{1416} = p_{1719} = p_{2022} = q_{\kappa}, \\ p_{911} &= p_{1214} = p_{1517} = p_{1820} = p_{2124} = p_{\kappa B}, \\ p_{923} &= p_{1213} = p_{1523} = p_{1823} = p_{2123} = q_{\kappa B}. \end{split}$$

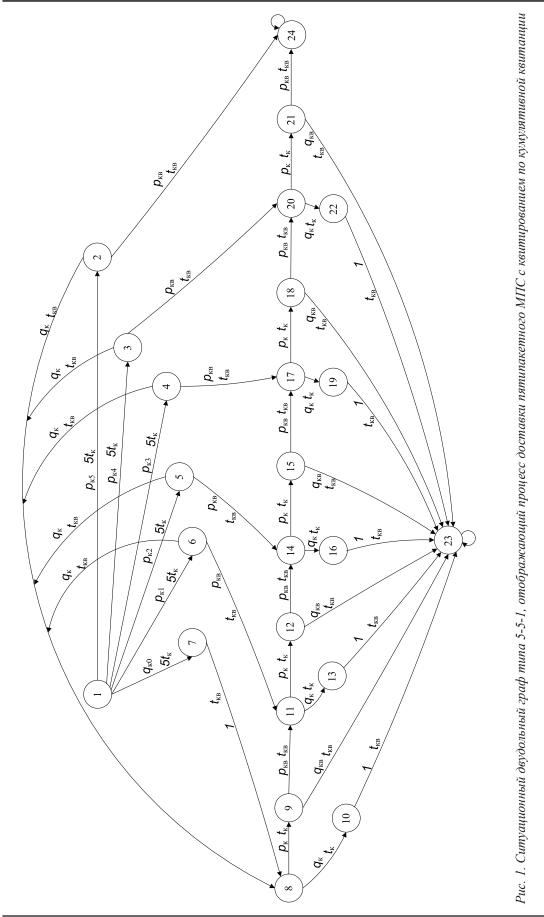
Таким образом, можно рассчитать все компоненты МПВ. Время, которое затрачивается на передачу одного кадра и одной квитанции, находится по формулам

$$t_{\kappa} = L_{\kappa} / V_{\pi \mu}, \tag{4}$$

$$t_{\scriptscriptstyle \mathrm{KB}} = L_{\scriptscriptstyle \mathrm{KB}} / V_{\scriptscriptstyle \mathrm{\Pi}\mathrm{II}}. \tag{5}$$

Времена шагов переходов по графу данной ПКМЦ с учетом формул (4) и (5) находятся так:

$$\begin{split} t_{12} &= t_{13} = t_{14} = t_{15} = t_{16} = t_{17\mathrm{K}} = 5t, \\ t_{89} &= t_{810} = t_{1112} = t_{1113} = t_{1415} = \\ &= t_{1416} = t_{1718} = t_{1719} = t_{2021} = t_{2022} = t_{\mathrm{K}} \;, \\ t_{1111} &= t_{1212} = t_{\mathrm{K}} + t_{\mathrm{KB}}. \end{split}$$



FUNDAMENTAL RESEARCH № 12, 2017

Значения времен переходов, равных $t_{\text{кв}}$, будут следующими: t_{28} , t_{38} , t_{48} , t_{58} , t_{68} , t_{78} , t_{224} , t_{320} , t_{417} , t_{514} , t_{611} , t_{28} , t_{911} , t_{923} , t_{1214} , t_{1223} , t_{1517} , t_{1523} , t_{1820} , t_{1823} , t_{2124} , t_{2123} , t_{1023} , t_{1323} , t_{1623} , t_{1923} , t_{2223} .

ВВХ доставки пятипакетного МПС определяются в ходе решения уравнения Колмогорова – Чепмена (УКЧ) [1]:

$$P_{\langle 24 \rangle}^{(i)} = P_{\langle 24 \rangle}^{(0)} P_{[24,24]}^{i} = P_{\langle 24 \rangle}^{i-1} P_{[24,24]}^{i}, \quad (6)$$

где

$$P_{\langle 24 \rangle}^{(0)} = \langle P_1^{(0)}, P_2^{(0)}, \dots P_{23}^{(0)}, P_{24}^{(0)} \rangle,$$

$$P_{\langle 24 \rangle}^{(i-1)} = \langle P_1^{(i-1)}, P_2^{(i-1)}, \dots, P_{23}^{(i-1)}, P_{24}^{(i-1)} \rangle,$$

 $P_{\langle 24 \rangle}^{(i)} = \langle P_1^{(i)}, P_2^{(i)}, ..., P_{23}^{(i)}, P_{24}^{(i)} \rangle$ — векторы вероятностей состояний процесса на нулевом шаге, (*i*-1)-м и *i*-м шагах соответственно; $P_{[24,24]}$ — матрица переходных вероятностей (МПВ).

Подчеркнем, что в векторе вероятностей состояний вероятность P_{23} есть вероятность неуспеха, а вероятность P_{24} есть вероятность успеха.

Для численных расчетов ВВХ примем следующие исходные данные: длина кадра изменяется в пределах $L_{\rm k}=64...1000$ бит, длина квитанции фиксирована на сеансе связи и равна $L_{\rm kb}=24$ бита, количество кадров в передаваемом МПС равно 5, требуемые ВВХ доставки равны: $P_{\rm дов}^{\rm треб}=0.995$, $T_{\rm дов}^{\rm треб}=20$ с, вероятности битовой ошибки в прямом и обратном КПД варьируются в пределах $10^{-7}...5*10^{-4}$.

Оптимизационная задача (1) решается методом неопределенных множителей Ла-

гранжа [8–10]. Искомые скорости в прямом и обратном каналах как результат ее решения имеют вид

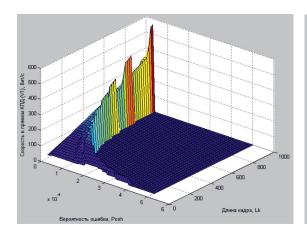
$$V_{1} = \frac{C_{1}}{T_{\text{nob}}^{\text{non}}} + \frac{\sqrt{C_{1}C_{2}}}{T_{\text{nob}}^{\text{non}}},$$
 (7)

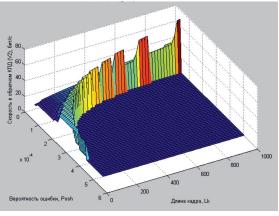
$$V_2 = \frac{C_2}{T_{\text{non}}^{\text{non}}} + \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{T_{\text{non}}^{\text{non}}},$$
 (8)

где $C_1 = u_{sk} \cdot L_{\kappa} + (\mathrm{K}_1 - 1) \cdot L_{\kappa}$ — объем информации в совокупности кадров, передаваемой по прямому КПД, $C_2 = \mathrm{K}_2 \cdot L_{\kappa \mathrm{B}}$ — объем информации в совокупности квитанций, передаваемой по обратному КПД рассматриваемого АТПД. При этом K_1 есть число передач пакета, а K_2 есть число передач квитанции в ходе доставки МПС с заданными ВВХ. Данные величины находятся по приведенной модели доставки МПС.

Необходимо отметить, что выражение для C_1 учитывает особенность использования кумулятивной квитанции, а именно длину первого шага процесса, которое по времени равно передаче числа кадров, равных длине «скользящего окна».

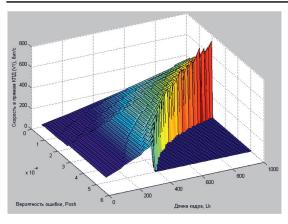
Описанный подход позволяет решить задачу (1) и для случая передачи МПС с большим, чем 5, числом пакетов. Пусть при этом общее МПС будет разбито, например, на m сегментов по 5 пакетов. Требование по вероятности доведения к одному пятипакетному МПС будет определяться из выражения $P_{\text{дов}}^{(5)} = \sqrt[m]{P_{\text{дов}}^{(\text{MIC})}}$. А требования по времени доведения к одному пятипакетному МПС будут определяться из выражения: $T^{(5)} = T/m$.

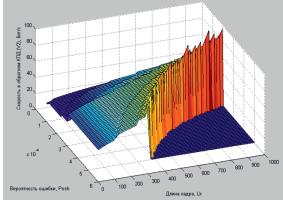




a) 6)

Рис. 2. Трехмерный график зависимости скорости передачи информации по прямому (а) и обратному (б) КПД от вероятности битовой ошибки и длины кадра (пакета) в СПД типа 5-5-1





a) 6)

Рис. 3. Трехмерный график зависимости скорости передачи информации по прямому (а) и обратному (б) КПД от вероятности битовой ошибки и длины кадра (пакета) в СПД типа 5-5-3

Тогда величины C_1 ' и C_2 ' будут находиться так: C_1 ' = $m \cdot C_1$, C_2 ' = $m \cdot C_2$. Именно относительно величин C_1 ' и C_2 ' и общего времени доведения T будет решаться задача (1).

По результатам данного исследования можно сделать такие выводы:

- 1. Математическая модель доставки МПС с кумулятивной квитанцией по протоколу X.25, разработанная на базе ПКМЦ в виде ситуационных двудольных графов, адекватно отображает физику исследуемого процесса, так как:
- а) с течением времени вероятность доставки сообщения увеличивается;
- б) с улучшением качества канала по вероятности битовой ошибки время доставки МПС уменьшается, а вероятность его доставки увеличивается.
- 2. Данная модель применима к описанию процесса доставки МПС сколь угодно большой емкости. При этом такое МПС следует декомпозировать на совокупность из *m* сегментов рассмотренной пакетной емкости.
- 3. Сформулирована и решена задача нахождения минимально достаточных скоростей в прямом и обратном КПД асимметричного радиотракта передачи данных. В основу оптимизации положен метод неопределенных множителей Лагранжа.
- 4. Разработанный научно-методический аппарат позволяет находить границы применимости протокола типа X.25 с кумулятивной квитанцией в асимметричном радиотракте передачи данных при требуемой достоверности и оперативности доставки многопакетного сообщения (рис. 2 и 3).

5. Описанный подход может быть внедрен в программное обеспечение контроллера формирователя кадра ЗПД-отправителя и ЗПД-получателя и должен использоваться на стадии эксплуатации АТПД для настройки сеансовых параметров перед началом информационного обмена.

Список литературы

- 1. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.
- 2. Цимбал В.А., Тоискин В.Е., Шиманов С.Н. Математическая модель процесса информационного обмена по протоколу ТСР на основе теории конечных марковских цепей [Текст] //Электросвязь. 2015. N 11. C. 53–58.
- 3. Бусленко Н.П. Исследование сложных технических систем. М.: Наука, 1982. 250 с.
- 4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2012. 944 с.
- 5. Цимбал В.А., Хоптар В.В., Сорокин О.И., Лягин М.А., Бережной А.А., Крючков Н.В. Правила автоматизированного синтеза конечной марковской цепи, описывающей доведение многопакетного сообщения в соединении «точка-точка» [Текст] // «Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. 2016. Вып. 4. С. 91–98.
- 6. Кемени Дж. Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова // Пер. с англ. М.: Наука, 1970. 272 с.
- 7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, $2003.-564\ c.$
- 8. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи М.: Сов. Радио, 1973. 232 с.
- 9. Баврин И.И., Матросов В.А. Общий курс высшей математики: учеб. для студентов физ.-мат. спец. пед. вузов. М.: Просвещение, 1995. 464 с.
- 10. Босс В. Лекции по математике. Т. 7: Оптимизация: учеб. пособие. Изд. 3-е. М.: Книжный дом «Либроком», 2010. 216 с.

УДК 004.057.5/.652.6/.656

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ХОЛДИНГОВОГО ТИПА

Черников Б.В.

OOO «Газпром ВНИИГАЗ», Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, e-mail: bor-cher@yandex.ru

Среди многих прикладных задач, решаемых непосредственно в интересах выполнения производственной деятельности, отдельным классом выделяются фундаментальные проблемы, лежащие в основе функционирования любой совокупности информационных систем (ИС). К таким проблемам следует отнести создание систем нормативно-справочной информации (НСИ), которые, вне всякого сомнения, должны играть роль базиса комплексов информационных систем, обеспечивая целостность и непротиворечивость циркулирующей информации. Кроме того, системы НСИ играют часто роль связующего, интегрирующего звена для комплексов информационных систем. Это обстоятельство особенно важно при построении систем НСИ для организаций холдингового типа, где помимо комплекса информационных систем головной организации одновременно функционирует совокупность ИС филиалов и дочерних организаций. Часто оказывается, что система нормативно-справочной информации разрабатывается в интересах отдельно взятых ИС, решая локальные задачи обеспечения функциональности конкретной информационной системы. При этом оказывается, что даже в рамках одной организации системы НСИ часто создаются без попутного решения интеграционных задач. И уж тем более приходится решать задачи гармонизации данных при реализации информационного обмена между организациями. Однако еще более сложной становится ситуация в условиях холдинговой структуры, когда при консолидации данных, поступающих от филиальных структур или дочерних обществ, на корпоративном уровне приходится «приводить к общему знаменателю» иногда трудно гармонизируемые сведения. Целью настоящей статьи является рассмотрение особенностей построения системы нормативно-справочной информации для организации холдингового типа, объединяющей филиальные структуры с локально созданными системами НСИ.

Ключевые слова: информационная система, интеграция информационных систем, единое информационное пространство, нормативно-справочная информация

FEATURES OF MASTER DATA SYSTEM CREATION IN HOLDING Chernikov B.V.

LLC «Gazprom VNIIGAZ», Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: bor-cher@yandex.ru

Among many applied problems solved directly in the interests of the performance of production activities, a separate class distinguishes the fundamental problems that underlie the functioning of any set of information systems (IS). Such problems include the creation of normative and reference information (NRI) systems, which, no doubt, should play the role of a basis for information systems complexes and ensure the integrity and consistency of the circulating information. In addition, these systems often play the role of a connecting, integrating, link for information systems complexes. This circumstance is especially important in the construction of NRI systems for organizations of a holding type, where, in addition to the information system of the parent organization, the set of IS of branches and subsidiaries simultaneously operates. Often it turns out that the system of normative and reference information is developed in the interests of individual IS, solving local problems of providing the functionality of a particular information system. It sometimes happens that even within the framework of one organization, NRI systems are often created without a passing solution of integration tasks. And even more so it's necessary to solve the tasks of data harmonization when implementing information exchange between organizations. However, even more difficult is the situation in the conditions of a holding structure, when consolidating data from affiliated companies or subsidiaries, at the corporate level, it is necessary to «lead to a common denominator», sometimes difficult to harmonize information. The purpose of this paper is to consider the specifics of normative and reference information system creating for the organization of a holding type that unites branch structures with locally created NRI systems.

Keywords: information system, information systems integration, single information space, reference data

Информационные технологии в сегодняшней жизни занимают важное место в деятельности практически всех организаций, причем не только тех, кто напрямую занимается разработкой информационных систем (ИС), но и тех компаний, где информационные технологии выполняют обеспечивающие функции. Свидетельством этому, безусловно, является принятие на уровне государства таких документов, как [1] и [2]. К базовым принципам развития информационных технологий относятся [1]:

- развитие исследований в сфере информационных технологий;
- дальнейшая глубокая информатизация важнейших отраслей экономики;
- развитие центров обработки и хранения информации.

Это положение является очень важным, поскольку призывает к использованию научных заделов и разработке нового, прогрессивного инструментария создания информационных систем.

Среди многих прикладных задач, решаемых непосредственно в интересах вы-

полнения производственной деятельности, отдельным классом выделяются фундаментальные проблемы, лежащие в основе функционирования любой совокупности информационных систем. К таким проблемам следует отнести создание систем нормативно-справочной информации (НСИ), которые, вне всякого сомнения, должны играть роль базиса комплексов информационных систем, обеспечивая целостность и непротиворечивость циркулирующей информации. Кроме того, системы НСИ играют часто роль связующего, интегрирующего, звена для комплексов информационных систем. Это обстоятельство особенно важно при построении систем НСИ для организаций холдингового типа, где помимо комплекса информационных систем головной организации одновременно функционирует совокупность ИС филиалов и дочерних организаций.

Актуальность и цель исследования

Информационные системы разрабатываются с целью обработки разнородной информации. Для разработки отдельных систем привлекаются различные компании, причем они, как правило, создают системы

независимо друг от друга, ограничиваясь использованием только такого характера и объема информации, который необходим именно для подготовки заданной системы. В результате подобных разработок достаточно часто организации получают совокупность информационных систем, каждая из которых предназначена для обработки данных определенного объема и состава. При этом часто оказывается, что система нормативно-справочной информации разрабатывается в интересах отдельно взятых ИС, решая локальные задачи обеспечения функциональности конкретной информационной системы. При этом оказывается, что даже в рамках одной организации системы НСИ часто создаются без попутного решения интеграционных задач. И уж тем более приходится решать задачи гармонизации данных при реализации информационного обмена между организациями. Однако еще более сложной становится ситуация в условиях холдинговой структуры, когда при консолидации данных, поступающих от филиальных структур или дочерних обществ, на корпоративном уровне приходится «приводить к общему знаменателю» иногда трудно гармонизируемые сведения (рис. 1).

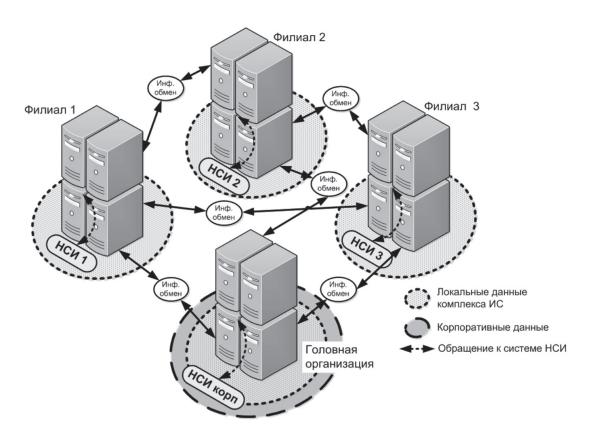


Рис. 1. Модель информационного обмена в условиях гетерогенности систем

Вопросы интеграции циркулирующей информации рассматривались, например, в работах [3, 4], однако специалисты рассматривают, как правило, инструментарий для приведения информации к гомогенным структурам. При этом следует отметить, что вопросы образования базовых структур, к которым относится нормативно-справочная информация, остаются за рамками рассмотрения. В то же время именно нормативно-справочная информация является тем связующим компонентом, который позволяет связать разнородные данные сопряженных систем на основе гармонизирующих унифицированных компонентов специально создаваемой системы НСИ, что отмечено в работе [5].

Целью настоящего исследования является рассмотрение особенностей построения системы нормативно-справочной информации для организации холдингового типа, объединяющей филиальные структуры с локально созданными системами НСИ.

Значимость нормативно-справочной информации

Представляется целесообразным прежде всего уточнить значимость нормативно-справочной информации для обеспечения корректности подготовки данных, циркулирующих в информационных системах и предназначенных для информационного обмена.

При создании систем нормативносправочной информации в гетерогенных структурах, характерных для организаций холдингового типа, необходимо учитывать особенности как протекающих бизнес-процессов в дочерних и филиальных организациях, так и специфику построения в них информационных систем (рис. 2).

Возможность появления подобных проблем обусловливает необходимость усиления процессов интеграции сопрягаемых систем, для чего необходим глубокий информационный анализ, на что обращено внимание в работе [6]. Схожие вопросы рассматривались авторами работ [7–10]. Только таким путем можно прийти к проработке общесистемных решений и построению единой системы нормативно-справочной информации, необходимой для гармонизированной работы всех информационных систем холдинга.

Важное место в процессах информационного взаимодействия систем занимает не только семантика, что отмечено в работах [11, 12], но также способ представления и корректность ввода информации.

Пример 1. На рис. 4 показан пример вариативного ввода одной и той же информации о контрагенте (приведенное наименование и адрес организации вымышлены, однако подобная ситуация наблюдалась в реальных процессах функционирования предприятия).

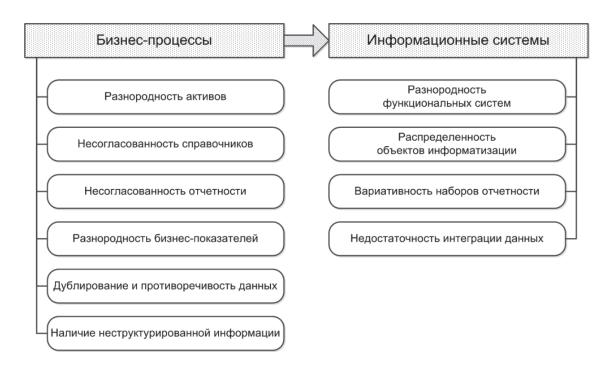


Рис. 2. Особенности информационного взаимодействия в холдинговых структурах



Рис. 3. Классификация интеграционных проблем

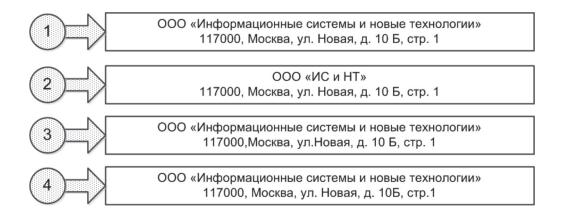


Рис. 4. Варианты ввода информации о контрагенте

Будем считать корректной информацию, введенную в варианте 1, и обратим внимание на другие варианты. При формальном поверхностном взгляде может показаться, что информация во всех вариантах введена правильно. Тем не менее рассмотрим особенности других вариантов:

• во втором варианте приведено сокращенное наименование организации, что в принципе не является невозможным, однако такой вариант должен быть предусмотрен в справочнике специально. Если же в справочнике контрагентов указана только полная версия наименования организации, ввод сокращенного названия должен быть отмечен как некорректный, ошибочный;

• третий вариант, вроде бы в целом верен, однако отсутствуют пробелы между почтовым индексом и названием города, а также нет пробела перед наименованием улицы. Если информация об адресе организации формируется не из компонентов (индекс – город – улица – дом), а берется напрямую из введенной строчной инфор-

мации, то такая запись не может считаться корректной;

• в четвертом варианте пропущены пробелы после номера дома и перед номером строения, что аналогично некорректности, отмеченной для варианта 3.

Пример 2. На рис. 5 приведена условная схема процесса формирования данных о стоимости некоторого товара на основе использования информации трех из различных документов.

На данной схеме показано, что в исходных документах, формируемых разными информационными системами (функции 1, 2 и 3), приводятся цены товара, семантически определяемые одинаковыми показателями, но формат представления данных различный. Следующая по схеме функция 4 должна консолидировать эти данные. Возникает вопрос, что в выходном отчете покажет консолидирующая функция? Конечно, есть возможность проведения дополнительных действий по гармонизации сведений... В то же время заблаговременно подготовленная система нормативно-справочной информации могла бы обеспечить именно такое представление данных, которое бы позволило исключить дополнительные операции.

Недостаточная нормализация данных в частных локальных системах приводит к следующим нежелательным последствиям информационного обмена негармонизированными данными, которые

являются исходными для формирования новых сведений:

- к расслоению хозяйственных операций по множеству вариативных данных;
 - к некорректному сведению данных;
- к некорректному расчету показателей хозяйственной деятельности.
- к возникновению предпосылок появления ошибок в расчетах и сбоев выполнения программ.

Из приведенных примеров можно видеть, что значимость системы нормативно-справочной информации в процессах интеграции локальных информационных систем, входящих в структуру организации холдингового типа, трудно переоценить. Именно единая система НСИ холдинга позволит обеспечить надежную гармонизацию сведений, содержащихся в локальных хранилищах данных дочерних и филиальных организаций.

Значимость своевременности разработки системы НСИ

В современной ситуации достаточно редко осуществляется заблаговременное построение единой системы нормативно-справочной информации, особенно если необходима интеграция либо уже существующих, либо автономно создаваемых информационных систем. В связи с этим формирование единой системы НСИ проводится по схеме «процессной» автоматизации, которую можно представить в виде, приведенном на рис. 6.

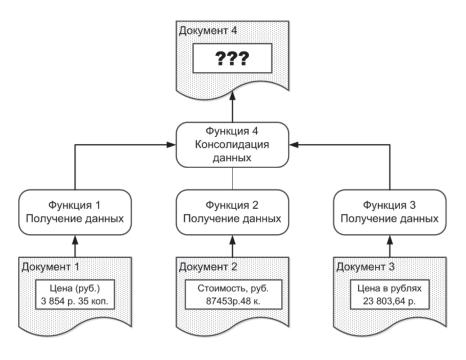


Рис. 5. Условная схема формирования данных о стоимости товара

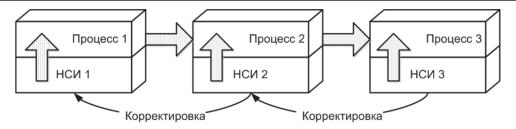


Рис. 6. Структура формирования системы НСИ при «процессной» автоматизации



Рис. 7. Структура процесса автоматизации на базе единой платформы НСИ

При такой структуре процесса неминуемо возникновение постоянного роста числа корректировок в ранее внедренных информационных системах, обслуживающих те или иные процессы. Ситуация еще более усложняется тем, что выполнение доработок в промежуточных по цепочке подсистемах НСИ влечет за собой необходимость проведения корректировок во всех сопряженных элементах.

Сокращение числа корректировок и доработок возможно при заблаговременном построении единой платформы НСИ, которая создается на основе информационного анализа и онтологиях используемых данных, для чего могут применяться технологии, которые, например, рассмотрены в работах [13—16]. В этом случае условная схема будет выглядеть так, как показано на рис. 7.

В этом случае процесс расширения информационных систем осуществляется лишь дополнением автоматизированных процессов, для которых уже будет подготовлена базовая структура классификаторов и справочников, размещенных в единой системе нормативно-справочной информации.

Согласованная система НСИ на базе единой платформы позволит накапливать и дополнять номализующие данные даже при последовательной автоматизации процессов.

Таким образом, своевременная разработка системы нормативно-справочной информации позволит сократить временные и финансовые затраты при создании единого информационного пространства организации холдингового типа.

Цели и задачи создания единой системы НСИ холдинга

Единая система нормативно-справочной информации необходима для решения следующих задач:

- обеспечение единообразия структуры представления информации во всех информационных системах холдинга;
- исключение рассогласования при подготовке циркулирующих данных;
- создание взаимосвязанной согласованной структуры словарей, справочников и классификаторов;
- обеспечение соответствия форматов НСИ в различных ИС, включая информационные системы дочерних и филиальных организаций;
- регламентация процессов обмена информацией при реализации бизнеспроцессов;
- сокращение трудоемкости и повышение качества формируемых документов.

Создание единой системы нормативносправочной информации организации холдингового типа позволит достичь следующих преимуществ:

- обеспечить целостность (полноту и точность) информации, циркулирующей в холдинговой структуре;
- создать предпосылки к интеграции локальных информационных систем филиальных и дочерних организаций;
- организовать корректный согласованный обмен данными между прикладными системами на основе единого методологического базиса НСИ.

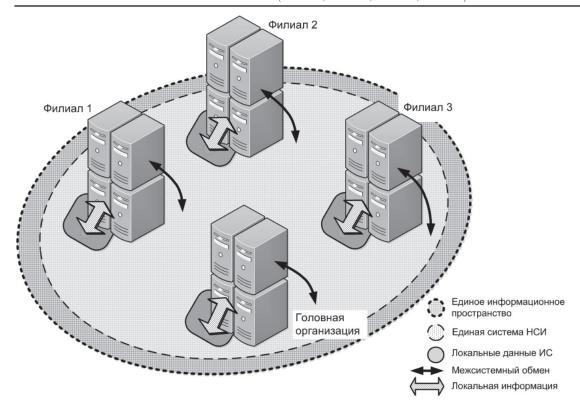


Рис. 8. Схема информационного обмена в условиях единой системы НСИ холдинга

Формирование единого информационного пространства холдинга на основе единой платформы НСИ позволит организовать информационный обмен, схема которого приведена на рис. 8.

Таким образом, создание единой системы НСИ холдинговой организации позволит повысить качество информационного обмена между структурными элементами холдинга, а также обеспечить сокращение используемых ресурсов при эксплуатации и развитии информационных систем.

Заключение

- 1. Система нормативно-справочной информации холдинга обеспечивает возможность создания единого информационного пространства, объединяющего головную организацию с дочерними и филиальными структурами.
- 2. Нормативно-справочная информация является основой для гармонизированного информационного обмена между сопряженными информационными системами, что необходимо для корректного согласованного обмена данными.
- 3. Своевременная разработка системы нормативно-справочной информации позволит сократить временные и финансовые

затраты при создании единого информационного пространства организации холдингового типа.

- 4. Сокращение числа корректировок и доработок возможно при заблаговременном построении единой платформы НСИ, которая создается на основе информационного анализа и онтологиях используемых данных.
- 5. Согласованная система НСИ на базе единой платформы позволит накапливать и дополнять номализующие данные даже при последовательной автоматизации процессов.
- 6. Единая система нормативно-справочной информации необходима для обеспечения единообразия структуры представления информации во всех информационных системах холдинга, а также исключения рассогласования при подготовке и обработке циркулирующих данных.

Список литературы

1. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014—2020 годы и на перспективу до 2025 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 01 ноября 2013 г. № 2036-р // Интернет-портал Российской газеты от 08.11.2013. URL: https:// rg.ru/2013/11/08/texnologii-site-dok.html (дата обращения: 28.11.2017).

- 2. План мероприятий («дорожная карта») «Развитие отрасли информационных технологий». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2013 г. № 2602-р // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157179/ (дата обращения: 28.11.2017).
- 3. Сысолетин Е.Г., Аксенов К.А., Круглов А.В. Интеграция гетерогенных информационных систем современного промышленного предприятия // Современные проблемы науки и образования. -2015. -№ 1–1. URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19030 (дата обращения: 28.11.2017).
- 4. Зыков С.В. Технология интеграции гетерогенного контента в корпоративных информационных системах // Вопросы кибербезопасности. -2015. № 4 (12). -C. 48–52.
- 5. Черников Б.В. Системный анализ проблем и механизмов интеграции отраслевых информационных систем // Информатизация и связь. -2015. -№ 3. -C. 14–23.
- 6. Черников Б.В. Информационный анализ при формировании систем нормативно-справочной информации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 2. C. 70–82.
- 7. Андрюшкевич С.К., Гуськов А.Е. Практика решения задач интеграции информационных систем на основе управления мастер-данными // Вычислительные технологии. 2013.-T. 18. № 6.-C. 3–15.
- 8. Loshin D. Master Data Management. Burlington.: Els. Morgan Caufmann. 2009. 274 p.
- 9. Панькин А.В. Метод взаимодействия элементов корпоративной информационной системы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. -2010.-T.53. № 11.-C.74-78.

- 10. Кусов А.А. Проблемы интеграции корпоративных информационных систем // Управление экономическими системами. -2011. № 4 (28). URL: http://www.uecs.ru/uecs-28-282011/item/411-2011-04-25-10-08-37 (дата обращения: 28.11.2017).
- 11. Черняк Л. Интеграция данных: синтаксис и семантика // Открытые системы. -2009. -№ 10. URL: https://www.osp.ru/os/2009/10/11170978/ (дата обращения: 28.11.2017).
- 12. Levy A.Y. Logic-Based Techniques in Data Integration. Logic-based Techniques in Data Integration // In: Logic Based Artificial Intelligence. Ed. by J. Minker. Kluwer Publishers. 2000. P. 575–596.
- 13. Черников Б.В. Онтологический инжиниринг и модель данных в процессе разработки информационных систем // Технологии разработки информационных систем: сб. ст. V Межд. науч.-техн. конф. (ТРИС-2014). Таганрог: Изд. ЮФУ, 2014. С. 3–14.
- 14. Черников Б.В. Модель данных инструмент интеграции информационных систем // Информатизация и связь. 2016. № 3. С. 116—124.
- 15. Бова В.В. Онтологическая модель интеграции данных и знаний в интеллектуальных информационных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 4. С. 225—237.
- 16. Adam F., Carlsson S., Nagle T., Sammon D. Making Sense of the Master Data Management (MDM) Concept: Old Wine in New Bottles or New Wine in Old Bottles // In Proceedings of the 2010 conference on Bridging the Sociotechnical Gap in Decision Support Systems: Challenges for the Next Decade. 2010. P. 175–186.

УДК 519.6:532.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ТРАНСПОРТА ДОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ПРИБРЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ

¹Чистяков А.Е., ²Проценко Е.А., ³Тимофеева Е.Ф., ⁴Николич Н.А.

¹Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: cheese_05@mail.ru; ²Таганрогский институт имени А.П. Чехова Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), Таганрог, e-mail: eapros@rambler.ru; ³Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь;

⁴Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, e-mail: fomenko.nata.alex@gmail.com

Необходимость численного моделирования механизмов формирования поля взвеси и потока наносов определяет актуальность исследуемой проблемы. В условиях современной действительности процесс освоения мелководных береговых зон с конструктивным преобразованием и изменением прибрежных рельефов приобретает все большее значение. Оценка гидродинамического воздействия на объекты прибрежной инфраструктуры, расположенные в прибрежных акваториях, является важнейшей задачей в настоящее время. Для определения динамики явлений, возникающих в прибрежных акваториях, и прогнозирования возможного вмешательства в экосистему актуализируется необходимость построения математических моделей процессов переноса вещества в прибрежных акваториях с учетом наличия прибрежных конструкций. В соответствии с поставленной целью необходимо провести анализ существующих моделей транспорта наносов в водных экосистемах и разработать комплекс взаимосвязанных моделей трехмерных волновых процессов и транспорта наносов, предназначенный для моделирования гидродинамических волновых процессов при наличии различных береговых сооружений.

Ключевые слова: транспорт наносов, волны, мелкая вода, затопление, надводные сооружения, силовое

MATHEMATICAL MODELING OF WAVE PROCESSES AND TRANSPORT OF BOTTOM MATERIALS TAKING INTO ACCOUNT COASTAL STRUCTURES IN COASTAL WATER AREAS

¹Chistyakov A.E., ²Protsenko E.A., ³Timofeeva E.F., ⁴Nikolich N.A.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: cheese_05@mail.ru; ²Taganrog Institute named after A.P. Chekhov, Rostov State Economic University, Taganrog, e-mail: eapros@rambler.ru;

³North-Caucasian Federal University, Stavropol;

⁴Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, Moscow, e-mail: fomenko.nata.alex@gmail.com

The necessity of numerical modeling of the mechanisms of formation of the field of suspension and sediment flow determines the urgency of the problem under study. Under modern conditions, the process of developing shallow coastal zones, with constructive transformation and changes in coastal reliefs, is becoming increasingly important. Assessment of the hydrodynamic impact on coastal infrastructure facilities located in the coastal waters is an important task at present. To determine the dynamics of the phenomena occurring in the coastal water areas and to predict possible interference in the ecosystem, the need to build mathematical models of the transport processes of matter in the coastal waters taking into account the presence of coastal structures is actualized. In accordance with the goal, it is necessary to analyze existing models of sediment transport in aquatic ecosystems and develop a set of interrelated models of three-dimensional wave processes and sediment transport designed to simulate hydrodynamic wave processes in the presence of various shore structures.

 $Keywords: sediment\ transport,\ waves,\ shallow\ water,\ flooding,\ surface\ structures,\ and\ power\ action$

Последние десятилетия характеризуются интенсивным использованием прибрежных районов морей и океанов в экономической и хозяйственной сферах деятельности страны. Изучение гидродинамических процессов прибрежных акваторий связано с исследованием влияния волновых процессов, генерируемых в открытом море или в самой прибрежной зоне водоема. Движение волн может привести к негативным резуль-

татам, оказывающим влияние на эксплуатацию как самой прибрежной зоны, так и непосредственно объектов прибрежной инфраструктуры: к трансформации донной поверхности, происходящей вследствие подъема донных отложений, к абразии, то есть процессу разрушения волнами и прибоем берегов различных водных систем.

Проблемы защиты объектов прибрежной инфраструктуры являются чрезвы-

чайно важными в условиях современной действительности. Результатом взаимодействия волн с донной поверхностью, береговым склоном и объектами прибрежной инфраструктуры является рефракция, дифракция и изменения структуры волн. Возведение берегозащитных сооружений, волнорезов и волновых молов в настоящее время является дорогим и сложно реализуемым техническим процессом. Ключевым требованием к проектированию берегозащитных сооружений становится исследование и анализ природных условий и факторов, в которых они будут эксплуатироваться. При этом наиболее существенными факторами являются колебания уровня поверхности воды, ветровые явления, течения, транспорт донных материалов и непосредственно деформация берегового склона.

Изучение разнообразных этапов эволюции волн, в том числе их непосредственного выхода на берег, порождает необходимость разработки комплекса взаимосвязанных математических моделей, способных достаточно точно описать данные гидродинамические процессы. Активное развитие в области математического моделирования волновых процессов и их численной реализации направлено на точное предсказание приливов, определение адекватного тренда штормовых нагонов [1].

Характерной особенностью прибрежных акваторий является значительное влияние донной поверхности на волновые процессы, что затрудняет исследование приливных явлений в прибрежных районах морей и устьях рек. Влияние волновых процессов на прибрежную зону может иметь амбивалентный характер: волновые процессы могут оказывать существенное влияние на аккумуляцию и абразию береговой зоны водоема и непосредственно на прибрежные конструкции [2].

Для моделирования гидродинамических процессов актуализируется проблема практического применения вычислительно-эффективных методов, позволяющего получать довольно точное приближенное численное решение. Таким образом, в настоящее время актуализируется необходимость построения комплекса взаимосвязанных моделей трехмерных волновых процессов и транспорта наносов, предназначенного для моделирования волновых процессов при наличии объектов прибрежной инфраструктуры.

Целью нашего исследования является разработка комплекса взаимосвязанных моделей трехмерных волновых процессов и транспорта наносов, предназначенного

для моделирования волновых процессов с учетом объектов прибрежной инфраструктуры и оценка воздействия на объекты прибрежной инфраструктуры при наличии поверхностных гравитационных волн.

Поставленная цель требует реализации следующих задач: обосновать актуальность решаемой проблемы; выполнить обзор существующих подходов к проблеме; провести анализ существующих моделей транспорта наносов в водных экосистемах; проанализировать подходы к математическому моделированию данных процессов в водных экосистемах, провести классификацию описывающих их математических моделей; разработать модель транспорта донных материалов в прибрежных акваториях, предназначенную для определения динамики донной поверхности; разработать комплекс взаимосвязанных моделей трехмерных волновых процессов и транспорта веществ, предназначенного для моделирования гидродинамических волновых процессов при наличии объектов прибрежной инфраструктуры.

Математическая модель транспорта донного материала

Исходными уравнениями математической модели транспорта донных веществ являются уравнения, описывающие переформирование прибрежного рельефа [3]:

$$(1-\varepsilon)\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0,$$

$$\vec{Q} = \begin{cases} A \vec{\omega} d |\vec{\psi}|^{\beta-1} \vec{\psi}, & |\tau| \ge \tau_{bc}, \\ 0, & |\tau| < \tau_{bc}; \end{cases}$$

$$\vec{\psi} = \frac{\vec{\tau}}{(\rho_1 - \rho_0)gd}, \tag{1}$$

где H — глубина дна, отсчитываемая от невозмущенной поверхности водоема; ε — пористость грунта; $\vec{Q} = \{Q_x, Q_y\}$ — расход наносов, $|\vec{Q}| = Q$; x, y — горизонтальные декартовы координаты; τ_b — касательное напряжение на дне; τ_{bc} — критическое значение касательного напряжения, при котором начинается перемещение наносов, g — ускорение свободного падения, ρ — плотность жидкости, A и β — безразмерные постоянные (A равно 19,5, β равно 3), ϖ — частота волны, d — характеристика осадков.

Принимая во внимание ограничения на касательные напряжения на дне расчетной области, система уравнений (1) может быть представлена в виде [4]:

$$(1-\varepsilon)\frac{\partial H}{\partial t} + div(k\bar{\tau}_b) = div(k(\tau_{bc} / \sin\varphi_0)gradH), \qquad (2)$$

$$k = \frac{A \varpi d}{\left((\rho_1 - \rho_0) g d \right)^{\beta}} \left| \vec{\tau}_b - \frac{\tau_{bc}}{\sin \varphi_0} g r a d H \right|^{\beta - 1} \cdot h \left(\left| \vec{\tau}_b - \frac{\tau_{bc}}{\sin \varphi_0} g r a d H \right| - \tau_{bc} \right), \tag{3}$$

где
$$h(x) = \begin{cases} 1, & x \ge 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$
 — функция Хэвисайда.

Уравнение (2) дополняется начальным и граничным условиями:

$$H(x, y, 0) = H_0(x, y).$$
 (4)

$$H_0'(x,y) = 0.$$
 (5)

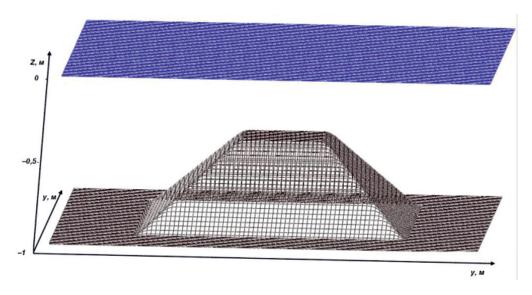


Рис. 1. Начальный рельеф дна

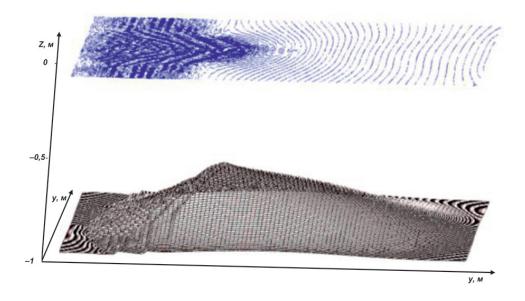


Рис. 2. Геометрия дна через 80 минут

Для расчета тангенциальных напряжений в модели транспорта наносов необходима информация о поле вектора скорости на дне водоема [5].

Рис. 1–2 иллюстрируют результаты численных экспериментов моделирования динамики донной поверхности. При этом размер расчетной сетки равен 200×200, шаг по пространственным переменным 0,1 м, шаг по времени 0,01 с, скорость движения ветра 5 м/с и направлена слева направо.

Математическая модель волновой гидродинамики

Для математического описания задачи волновой динамики жидкости использована модель [6], представленная на рис. 3.

$$u_t' + uu_x' + vu_y' = -\frac{P_x'}{\rho} + (\mu u_x')_x' + (\eta u_y')_y', (6)$$

$$v_t' + uv_x' + vv_y' = -\frac{P_y'}{\rho} + (\mu v_x')_x' + (\eta v_y')_y' + g, \quad (7)$$

$$u_x' + v_y' = 0. (8)$$

$$P'_n(x, y, t) = 0$$
, $V_n(x, y, t) = 0$,

$$\rho \eta u'_{y}(x, y, t) = -\tau_{y}(t)$$
, $\rho \mu v'_{y}(x, y, t) = -\tau_{y}(t)$, (9)

$$u'_n(x, y, t) = 0$$
, $v(x, y, t) = P'_t / g\rho$,
 $P'_n(x, y, t) = 0$, (10)

$$u'_n(x, y, t) = 0$$
, $v'_n(x, y, t) = 0$,

$$P_n'(x,y,t) = \frac{\rho\Pi}{\tau L}, \qquad (11)$$

где V=(u,v) — вектор скорости движения водной среды; P — давление; μ , η — коэффициенты турбулентного обмена по горизонтальному и вертикальному направлениям соответственно; g — ускорение свободного падения; ρ — плотность жидкости; τ_x , τ_y — составляющие тангенциального напряжения на дне жидкости; Π — поток вектора скорости через боковую поверхность; L — расстояние от поверхности жидкости до дна (глубина жидкости с учетом возвышения уровня) на боковой границе. Система координат выбрана таким образом, что ось Ox совмещена с поверхностью невозмущенной жидкости и направлена в сторону берега, ось Oy — вертикально вниз.

Для численной реализации дискретной модели задачи волновой гидродинамики введена сетка:

$$W_{h} = \left\{ t^{n} = n\tau, x_{i} = ih_{x}, y_{j} = jh_{y}; n = \overline{0...N_{t}}, i = \overline{0...N_{x}}, j = \overline{0...N_{y}}; N_{t}\tau = T, N_{x}h_{x} = l_{x}, N_{y}h_{y} = l_{y} \right\},$$

где τ — шаг по времени, h_{x} , h_{y} — шаги по пространству, N_{t} — верхняя граница по времени, N_{x} , N_{y} — границы по пространству. Рис. 4 иллюстрирует трансформацию

Рис. 4 иллюстрирует трансформацию профиля волны, набегающей на берег, с течением времени, программа отображает векторы поля скорости, градацией цвета показано поле давления.

Математическая модель волновых процессов, учитывающая наличие надводных береговых сооружений

Для разработки математической модели движения водной среды использована трехмерная гидростатическая модель, представленная на рис. 5.

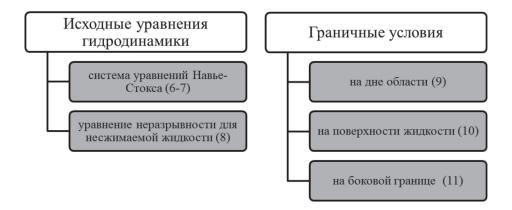


Рис. 3. Исходные уравнения математической модели волновой гидродинамики

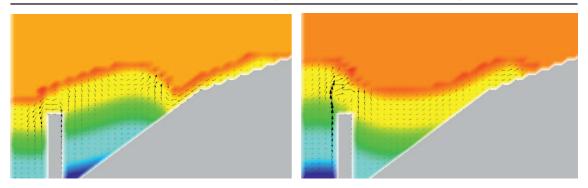


Рис. 4. Динамика профиля уровня возвышения жидкости при наличии прибрежной конструкции

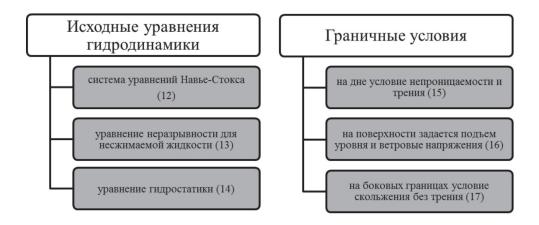


Рис. 5. Исходные уравнения математической модели волновых процессов, учитывающей наличие надводных береговых сооружений

$$u'_{t} + uu'_{x} + vu'_{y} + wu'_{z} = -\frac{1}{\rho}P'_{x} + (\mu u'_{x})_{x}' + (\mu u'_{y})_{y}' + (\eta u'_{z})_{z}',$$

$$v'_{t} + uv'_{x} + vv'_{y} + wv'_{z} = -\frac{1}{\rho}P'_{y} + (\mu v'_{x})'_{x} + (\mu v'_{y})'_{y} + (\eta v'_{z})'_{z},$$
(12)

$$u'_{x} + v'_{y} + w'_{z} = 0, (13)$$

$$P = \rho g \left(z + \xi \right). \tag{14}$$

$$\rho_{\nu}\eta\nu'_{n} = \tau_{y,b}(t), \ V_{n} = 0, \ \rho\eta u'_{n} = -\tau_{x,p}(t),$$
 (15)

$$\rho \eta u'_{n} = -\tau_{x,p}(t), \quad \rho \eta v'_{n} = -\tau_{y,p}(t), \quad w = -\xi'_{t}, \tag{16}$$

$$u'_n = 0, \ v'_n = 0, \ \xi'_n = 0,$$
 (17)

где ξ — функция подъема уровня (функция возвышения), $V = \{u, v, w\}$ — вектор скорости движения водной среды, P — давление, μ , η — коэффициенты турбулентного обмена по горизонтальному и вертикальному на-

правлениям соответственно, g — ускорение свободного падения, ρ — плотность жидкости, τ_x , τ_y — тангенциальное напряжение на дне жидкости, оси Ox, Oy имеют горизонтальное направление.

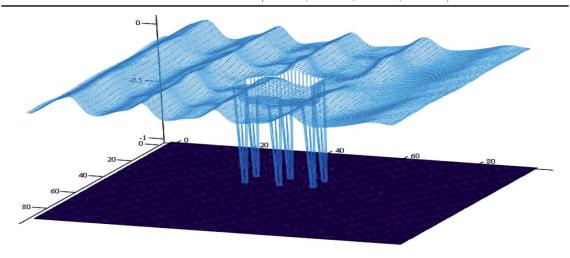


Рис. б. Функция возвышения уровня при обтекании водной средой прибрежного объекта

Для расчета давления в гидростатическом приближении при наличии надводного объекта, установленного на дне водоема, используем уравнение

$$P = \rho g (z + \chi) + P_g = \rho g (z + \chi + P_g / \rho g).$$

Функция возвышения в этом случае примет вид

$$\xi = \chi + P_g / \rho g,$$

где χ — функция, описывающая геометрию дна. Взаимосвязанный комплекс программ был использован для расчета гидродинамического воздействия волновых процессов на прибрежный объект. Размеры подводной части конструкции: 5 м×10 м×20 см. Объект установлен на шести опорах. Зона моделирования имеет размеры 50 м×50 м×1 м (рис. 6).

Результаты численных экспериментов, полученные с помощью применения взаимосвязанного комплекса программ по моделированию гидродинамических волновых процессов, позволяют провести оценку воздействия волновых процессов на прибрежные объекты.

Заключение

Оценка гидродинамического воздействия на берегозащитные сооружения и прибрежные конструкции, установленные на дне мелководного водоема, является важнейшей задачей в настоящее время, применение результатов исследований, представленных в статье, связано с планированием рационального природопользования.

Новизна научной идеи состоит в применении комплекса взаимосвязанных моделей волновых процессов и транспорта донных материалов в прибрежных акваториях с учетом наличия объектов прибрежной инфраструктуры, а также воздействия на объекты прибрежной инфраструктуры при наличии поверхностных волн. Разработанный комплекс взаимосвязанных моделей волновых процессов и транспорта донных материалов может быть использован при планировании целесообразного природопользования и прогнозировании динамики донной поверхности.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 17–11–01286).

Список литературы

- 1. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: Γ EOC, 2001. 272 с.
- 2. Sukhinov A.I., Sukhinov A.A. Reconstruction of 2001 ecological disaster in the Azov Sea on the basis of precise hydrophysics models // Parallel Computational Fluid Dynamics 2004: Multidisciplinary Applications. 2005. C. 231–238.
- 3. Сухинов А.И. Прецизионные модели гидродинамики и опыт их применения в предсказании и реконструкции чрезвычайных ситуаций в Азовском море // Известия ЮФУ. Технические науки. -2006. № 3 (58). С. 228-235.
- 4. Sidoryakina V.V., Sukhinov A.I. Well-posedness analysis and numerical implementation of a linearized two-dimensional bottom sediment transport problem // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2017. Vol. 57, N 6. P. 978–994.
- 5. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Protsenko E.A. Mathematical modeling of sediment transport in the coastal zone of shallow reservoirs // Mathematical Models and Computer Simulations. -2014.-T.6, N = 4.-C.351-363.
- 6. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Shishenya A.V., Timofeeva E.F. Mathematical model for calculating coastal wave processes // Mathematical Models and Computer Simulations. -2013.-T.5, N₂ 2.-C.122-129.

УДК 62-503.5:004.02

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ РОТОРА ШАРОВОГО ГИРОСКОПА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1,2Юльметова О.С., 1Ландау Б.Е., 1Щербак А.Г.

¹АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, e-mail: olga@yulmetova.ru; ²НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, e-mail: olga@yulmetova.ru

В работе приведены положения и условия использования системных подходов для решения задач создания сплошного ротора бескарданного электростатического гироскопа на основе использования ионно-плазменных и лазерных технологий. Представлена информационно-логическая модель в виде классификации последовательного типа, определяющая корреляцию гироскопических характеристик ротора и технологических параметров на разных стадиях процесса его изготовления. Разработан алгоритм процесса создания ротора на основе ионно-плазменных и лазерных технологий. Представлены модели для формирования моментов инерции сферического узла, корректировки его дисбаланса и нанесения на его поверхность светоконтрастного рисунка. Модель формирования момента инерции основана на управляемом распределении формируемого на его поверхности функционального покрытия. Корректировка дисбаланса связана с лазерным испарением локальной точечной массы, исходя из направления и величины вектора дисбаланса ротора. Управление контрастностью рисунка осуществляется путем регулирования стехиометрии напыляемого покрытия и параметров последующего процесса лазерной маркировки. Эффективность предложенных технических решений подтверждена в ходе практической апробации.

Ключевые слова: гироскоп, ротор, системный анализ, момент инерции, дисбаланс, растровый рисунок, ионно-плазменные и лазерные технологии

SYSTEMIC ANALYSIS FOR THE PROCESS OF ELECTROSTATIC GYRO ROTOR MANUFACTURE BASED ON APPLYING IONLY-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

^{1,2}Yulmetova O.S., ¹Landau B.E., ¹Scherbak A.G.

¹Concern CSRI Elektropribor, JSC, St. Petersburg, e-mail: olga@yulmetova.ru; ²ITMO University, St. Petersburg, e-mail: olga@yulmetova.ru

The paper describes the terms and conditions of systemic approaches based on ion-plasma and laser technologies for solving the problems related to manufacture of electrostatic gyro rotor. The information-logical model in the form of a sequential type classification, which determines the correlation of the gyroscopic characteristics of the rotor with its technological parameters, provided at different stages of the technological process of its manufacture, is presented. An algorithm for the rotor manufacturing process based on ion-plasma and laser technologies is developed. Models describing the formation of the inertia moment for a spherical rotor, as well as the models for its imbalance correction and light-contrast pattern creation on the surface of the rotor are presented. The model for the formation of the inertia moment is based on a controlled distribution of the functional coating formed on its surface. Imbalance correction is associated with evaporation of the local point mass by laser. The contrast is controlled by adjusting the stoichiometry of the sprayed coating and the parameters of the subsequent laser marking process. The effectiveness of the proposed technical solutions is confirmed during practical approbation.

Keywords: gyroscope, rotor, systemic analysis, moment of inertia, imbalance, raster drawing, ion-plasma and laser technologies

Развитие современной техники во многом связано с непрерывным процессом получения и обработки информации по оценке технических ситуаций и состояния сложных технических объектов. К требующим особого внимания подвижным техническим объектам в первую очередь следует отнести космическую и ракетную технику, авиацию и объекты морского флота. Средствами получения первичной информации для указанных объектов служат навигационные системы, надежность и достоверность определения параметров движения которых обусловливает объективность и адекватность принимаемых решений, связанных с конкретными действиями по управлению этими объектами.

Основными средствами измерений в навигационных системах являются гироскопические приборы. Совершенствование одного из наиболее перспективных шаровых гироскопов - бескарданного электростатического гироскопа (БЭСГ) со сплошным ротором, используемого в системах определения ориентации орбитальных космических аппаратов [1], связано с повышением его точности. Прикладные аспекты решения этой проблемы требуют создания и дальнейшего развития новых прогрессивных технологических методов и средств, к которым можно отнести ионно-плазменные и лазерные технологии (ИПЛТ) [2]. Освоение новых способов производства обусловлено, с одной стороны, необходимостью обеспечения точности узлов, нормируемых десятками нанометров, например, по форме и дисбалансу [3] роторов БЭСГ, с другой стороны — потребностью улучшения технико-экономических показателей за счет повышения производительности и снижения себестоимости процессов изготовления. При этом эффективное внедрение указанных технологий в цикл изготовления роторов требует разработки комплексного подхода, реализация которого возможна на основе применения системного анализа [4].

Постановка задачи

Ротор БЭСГ — основной конструктивный элемент гироскопа, имеющий совокупность технических требований, выполнение которых традиционными методами носит весьма противоречивый характер. Например, формирование точной сферы приводит к изменению дисбаланса, а устранение дисбаланса — к несферичности. С другой стороны, для обеспечения функционирования оптоэлектронной системы съема информации на ротор наносится растровый рисунок, формирование которого обеспечивает необходимый контраст, но ухудшает геометрию ротора и изменяет свойства его поверхности.

Для разрешения указанных противоречий предлагается использовать системный анализ [5], включающий этапы выявления целей с их структурированием, анализ и согласование технических требований, определение путей достижения целей с формированием результатов.

Целью работы являлось выявление на основе системных подходов методов и средств ИПЛТ для создания ротора БЭСГ.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач.

- 1. Формирование на основе блочно-иерархического принципа построения взаимосвязанной совокупности этапов процесса выявления технических решений по созданию ротора.
- 2. Формализация последовательности действий по созданию ротора с представлением их в виде системы, в которой взаимосвязь элементов определяется, исходя из результатов поэтапного сравнения получаемых промежуточных данных с задаваемыми критериями.
- 3. Разработка системы моделей использования ИПЛТ и апробация выявленных технических решений.

Информационно-логическая модель технологического проектирования процесса создания ротора БЭСГ

Рассматривая ИПЛТ как компонент процесса создания ротора БЭСГ, можно

представить последовательность действий, связанных с анализом изделия, и требований к результатам, включая промежуточные, которые можно определить как технические требования {TT}, с последующим выявлением подходов к решению задач и сравнением полученных результатов с техническими требованиями. Наглядно этот процесс можно представить в виде информационно-логической модели (ИЛМ), которая включает в свой состав взаимосвязанную совокупность систем, описывающих содержание этапов и стадий процесса создания ротора (рис. 1).

Разработанная ИЛМ (рис. 1) является классификацией последовательного типа, представляющая с позиций системного анализа классификационные признаки различных уровней. В качестве этих признаков принята совокупность элементов ротора (бл. 2–5), рабочие параметры БЭСГ (бл. 6), технические характеристики (бл. 7-8), соответствующие узлам и элементам, формирование технических требований к гироскопу $\{TT\}_{r}$ (бл. 9), ротору $\{TT\}_{r}$ (бл. 10) и элементам ротора {ТТ} (бл. 11), синтез результатов $\{R\}$ (бл. 12) на основе выявления технических решений по использованию ИПЛТ, а также последовательная оценка соответствия результатов $\{R\}$ техническим требованиям {TT}, {TT}, и {TT} в операторах сравнения (бл. 13, 14 и 15). Обратные связи в операторах сравнения определяют возможность выявления альтернативных технических решений для обеспечения технических требований.

Детализация элементов ИЛМ с использованием сформированных критериев оценки позволяет объективно представить содержание исследований по решению задач создания БЭСГ на основе использования ИПЛТ. В ИЛМ использован принцип декомпозиции, на основании которого можно выделить основные параметры ротора – динамические, геометрические, оптические (бл. 7), а также сгруппировать характеристики элементов ротора, непосредственно влияющие на эти параметры. К указанным характеристикам можно отнести его момент инерции и дисбаланс, контраст и равномерность растра. Таким образом, используя системные подходы и определяя требования к гироскопу {ТТ} как основную цель, можно выделить группы технических требований к сферическому ротору шарового гироскопа $\{TT\}_p$ и к составным элементам ротора $\{TT\}_3$ – это бериллиевая сфера, тонкопленочное покрытие и растровый рисунок. Фактически в бл. 9 количественно определяются параметры, приведенные в бл. 6, то же самое имеет место для бл. 7 и бл. 10, а также для бл. 8 и 11.



Рис. 1. ИЛМ технологического проектирования процесса изготовления ротора

Процесс обеспечения приведенных в ИЛМ характеристик ротора и его элементов можно связать с конкретными техническими решениями и представить как построение алгоритма процесса изготовления ротора и формирования этих элементов, где в совокупности приемов, методов и средств технологии могут быть и однозначно задаваемые, и альтернативные варианты. При этом моделирование процесса [6] может включать и возможное комбинирование элементов альтернативных решений. Следует отметить направление информационных потоков в представленной ИЛМ. Для определения корреляции параметров БЭСГ и характеристик его узлов и элементов, а также при формировании технических требований используются принципы последовательной декомпозиции и имеет место перемещение информации от изделия к его составным частям. При оценке соответствия результатов техническим требованиям указанное перемещение осуществляется от элементов ротора к изделию в целом. При этом каждая позиция какого-либо уровня может быть представлена в виде самостоятельной структурной схемы с заданной внутренней иерархией.

Следует отметить, что в операторах сравнения 13, 14 и 15 ИЛМ осуществляется структуризация информационных элементов,

формируемых в виде условий корректировки результатов $\{R_{\scriptscriptstyle 3}\}$, $\{R_{\scriptscriptstyle p}\}$ и $\{R_{\scriptscriptstyle r}\}$, по отношению к образуемым составным блокам ИЛМ, с определением направления перемещения информационных элементов на блок 12.

В ИЛМ обозначены обратные связи, определяющие возможность выбора альтернативных технических решений, что может быть связано с корректировкой системы моделей. Кроме того, возможной является корректировка $\{TT\}_p$ и $\{TT\}$ и уточнение сформированных критериев.

Выявление технических решений применения ИПЛТ

Используя принцип декомпозиции, блок выявления технических решений в ИЛМ (бл. 12 на рис. 1), соответствующий уровню синтеза результатов, можно представить в виде алгоритма (рис. 2), который, по сути, является блок-схемой проектирования процесса создания ротора.

В бл. 1 алгоритма с учётом положений, сформулированных при построении ИЛМ, осуществляется анализ {TT}, формирование {TT}, и {TT}, и разработка критериев оценки. Технические требования и критерии определяют условия разработки системы моделей (оп. 2) и согласованную последовательность формирования характеристик и параметров ротора: момента

инерции — бл. 3, дисбаланса — бл. 4 и растрового рисунка — бл. 5. В каждом из этих блоков предусмотрены альтернативные варианты технических решений, формируемые в рамках создания системы моделей. Эти блоки включают аналитические и эмпирические зависимости, связывающие параметры ИПЛТ с характеристиками функциональных элементов ротора, номограммы, определяющие диапазоны варьирования параметрами ИПЛТ, данные по корреляции параметров изделия и характеристик функциональных элементов.

Систему моделей, представленную в бл. 2, по формированию момента инерции, устранению дисбалансов и нанесению контрастного рисунка наиболее эффективно реализовывать на основе методов ИПЛТ ввиду ограниченных возможностей традиционно используемых средств технологии.

Система моделей использования ИПЛТ при создании ротора БЭСГ

Моменты инерции ротора. Известные методы формирования моментов инерции сферических роторов, основанные на запрессовке в тело ротора и диффузионной сварке армирующих элементов [7], имеют ряд ограничений и не решают задач повышения точности ротора. Рассматривая, в соответствии с алгоритмом (рис. 2), формирование момента инерции ротора, можно представить конфигурацию (рис. 3), основанную на управляемом распределении формируемого на его поверхности функционального покрытия. Аналитические зависимости для расчета моментов инерции вдоль I_{SO} и поперек I_{SE} динамической оси вращения сферического ротора имеют следующий вид:

$$I_{SE} = \frac{\rho_n}{60} \cdot \pi \cdot (32R^5 - 32R_{\text{och}}^5 + 15 \cdot (R_{\text{och}}^4 - r^4) \cdot h + \frac{\rho_p}{60} \cdot \pi \cdot (32R_{\text{och}}^5 - 15 \cdot (R_{\text{och}}^4 - r^4) \cdot h, \tag{1}$$

$$I_{SO} = \frac{\rho_n}{30} \cdot \pi \cdot (16R^5 - 16R_{\text{och}}^5 + 15 \cdot (R_{\text{och}}^4 - r^4) \cdot h + \frac{\rho_p}{30} \cdot \pi \cdot (16R_{\text{och}}^5 - 15 \cdot (R_{\text{och}}^4 - r^4) \cdot h,$$
 (2)

где R — наружный радиус покрытия, $R_{\rm och}$ — радиус заготовки ротора, r — радиус канавки, характеризующий ее глубину, $\rho_{\rm n}$ и $\rho_{\rm p}$ — плотность материалов покрытия и заготовки ротора, h — ширина экваториальной канавки. Учитывая, что $l=(R_{\rm och}-r)<< R_{\rm och}$, в выражениях для I_{SO} и I_{SE} можно оставить только слагаемые, линейные по l. Если пренебречь разницей $R_{\rm och}$ и $R_{\rm och}$, использовать разложение $R_{\rm och}^4-r^{4\rm och} \stackrel{4}{\approx} 4R_{\rm och}^3 l$, то в результате можно получить выражение для расчета разности моментов инерции вдоль и поперек динамической оси ротора:

$$\delta I = \frac{lh\Delta\rho}{\frac{8}{15}\rho_p R_{\text{och}}^2 + 2lh(\rho_n - \rho_p)}.$$
 (3)

На практике зависимости (1)–(3) позволяют технически объективно выбирать значения конструктивных параметров ротора с учетом возможностей ИПЛТ.

Корректировка дисбаланса ротора. Из разработанных моделей корректировки дисбаланса первая связана с лазерным испарением локальной точечной массы в месте, определяемом выходом вектора дисбаланса ε на поверхность ротора [2], что позволяет управлять процессом устранения дисбаланса на уровне десятых долей микрометра.

Масса m испаряемого материала определяется из выражения $\varepsilon = \frac{m}{M}R$, где ε – величина устраняемый дисбаланс, R – радиус ротора. Более эффективным техническим

решением является формирование на поверхности ротора тонкопленочного функционального покрытия со смещением Δ центра сферы покрытия относительно центра сферической заготовки ротора. Это может обеспечиваться методом, в котором используется принцип переменной скорости вращения напыляемого объекта [8], представляющего собой тело вращения. В данном случае корректируемый дисбаланс ϵ

определяется выражением
$$\varepsilon = \Delta \left(\frac{\rho_n}{\rho_p} - 1 \right)$$
.

Модели управления характеристиками растрового рисунка. Контрастность К растрового рисунка определяется соотношением

$$K = \frac{R_b - R_r}{R_b + R_r},\tag{4}$$

где R_b и R_r — коэффициенты отражения базовой поверхности и растра. Для регулирования оптических характеристик ротора была разработана модель, связывающая условия процесса напыления покрытия нитрида титана методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ) со значениями коэффициентов R_b , и модель, определяющая зависимость коэффициентов R_r от параметров лазерной обработки [9]. Очевидно, что, поскольку R_b задается условиями формирования нитрида титана [10, 11] на стадии КИБ, а R_r — параметрами лазерной обработки, можно регули-

ровать значения K, добиваясь максимального контраста при минимальном воздействии лазера, за счет повышения R_b . Тогда для увеличения контраста при лазерной обработке потребуется меньшая мощность лазерного излучения, что важно для минимизации глубины модифицированного слоя, которая может достигать сотых долей микрометра. Повышение значения R_b возможно за счет формирования покрытия нитрида титана нестехиометрического состава TiN_x (x=0.58-1.00) [12]. Конкретный состав нитрида титана регулируется задаваемым в процессе КИБ парциальным давлением азота.

Использование ИПЛТ при изготовлении ротора БЭСГ позволило устранить проти-

воречия процесса балансировки роторов, а анализ геометрии ротора показал, что после лазерного маркирования изменение гармоник, описывающих форму ротора, составляет тысячные доли микрометра. При этом ИПЛТ обеспечивают возможность решения многоцелевых задач, например, по формированию момента инерции на стадии нанесения износостойкого покрытия, с корректировкой при этом дисбаланса ротора. Практическое внедрение ИПЛТ, определяемое разработанной системой моделей, для формирования функциональных параметров и характеристик ротора БЭСГ, позволило улучшить технико-экономические показатели процесса его изготовления.



Рис. 2. Алгоритм процесса создания ротора БЭСГ

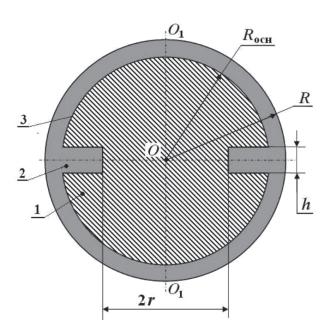


Рис. 3. Конфигурация ротора: 1 – основа ротора, 2 – кольцевая канавка, 3 – функциональное покрытие

Заключение

На примере сплошного ротора БЭСГ обоснована эффективность и сформулированы принципы использования системного анализа для решения задач изготовления ротора БЭСГ с использованием ИПЛТ. Разработаны ИЛМ и алгоритм технологического проектирования процесса изготовления ротора. Представлен комплекс моделей для формирования моментов инерции, корректировки дисбалансов и нанесения контрастных изображений на поверхность прецизионного узла, геометрическая точность которого нормируется сотыми долями микрометра.

Список литературы

- 1. Бескарданная инерциальная система ориентации на электростатических гироскопах для орбитального космического аппарата / Б.Е. Ландау [и др.] // Изв. аузов. Приборостроение. -2011. -№ 6. -C. 66–74.
- 2. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Вейко В.П. Перспективы использования ионно-плазменных и лучевых технологий при создании прецизионных узлов гироскопических приборов // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. N 1. N 2. N 2. N 2. N 2. N 3. N 4. N 4. N 4. N 5. N 5. N 6. N
- 3. Кочкин С.В., Малёв Б.А. Метод измерения дисбаланса жестких роторов в режиме сферического циркуляционно-

- го движения // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. 2007. № 3. С. 105—115.
- 4. Ахмадиев Ф.Г. Системный анализ технологических процессов и решение краевых задач их математических моделей // Вестник ТГГПУ -2005. -N2. -112-118/
- 5. Статистическое моделирование и системный анализ технологических процессов: учеб. пособие / А.Н. Плотников. Самара: Изд-во Самар. Гос. аэкос. ун-та, 2008. 155 с.
- 6. Создание модели управления качеством многошаговых технологических процессов / Ю.А. Сафонова [и др.] // Фундаментальные исследования. 2017. № 8–2. С. 314–319.
- 7. Беляев С.Н. Исследование процессов прецизионного формообразования сферических элементов узлов гироприборов с использованием прогрессивных методов выполнения неразъемных соединений: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009. 250 с.
- 8. Прецизионная балансировка цилиндрических инерционных тел / О.С. Юльметова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2017. N 9. С. 82–88.
- 9. Юльметова О.С., Щербак А.Г., Вейко В.П. и др. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа // Патент РФ № 2498224. 2013. Бюл. № 23.
- 10. Свойства пленок нитрида титана, полученных методом магнетронного распыления / Ю.Н. Юрьев [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 4–3. С. 672–676
- 11. Wang Yanfeng et al. Effect of Multilayered Structure on Properties of Ti/TiN Coating // Rare Metal Materials and Engineering. 2017. V 46. № 5. P. 1219–1224.
- 12. Vaz F. et al. Influence of nitrogen content on the structural, mechanical and electrical properties of TiN thin films // Surface and Coating Technology. 2005. V. 191. № 2. P. 317–323.

УДК 332.1:004.056

ОЦЕНКА ПАРНЫХ СВЯЗЕЙ (ЗАВИСИМОСТЕЙ) МЕЖДУ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАННЫМ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ

Адамадзиев К.Р., Ахмедов А.С.

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Maxaчкaлa, e-mail: adamadziev@mail.ru

Настоящая статья посвящена построению и оценке уравнений парных регрессий, выражающих связи и зависимости между ключевыми экономическими показателями регионов России по данным за 2005, 2010 и 2015 гг. Обоснована необходимость построения различных видов уравнений регрессии (линейных и нелинейных), поскольку заранее не известны приемлемые их виды для описания исследуемой связи (зависимости). Для каждой пары связей (зависимостей) построены различные виды уравнений регрессии (линейный, степенной и др.). Созданы необходимые информационные документы: различные виды таблиц с исходными, промежуточными и аналитическими данными, а также графиков, позволяющих предварительно проверить наличие или отсутствие корреляционной связи (зависимости) между парами показателей. Разработан модельно-компьютерный инструментарий, представляющий собой совокупность формул, созданных и использованных в ходе решения задачи: уравнения регрессии, формулы для определения статистической характеристики и параметров уравнений регрессии, формулы для промежуточных расчетов (суммирования и нахождения средних, логарифмирования и потенцирования и др.), формулы для показателей предельных эффектов и коэффициентов эластичности, рассчитываемых по уравнениям регрессии. Обоснована приемлемость большинства построенных уравнений парной регрессии, выражающие линейные, показательные и степенные виды зависимостей. Проведен анализ предельных эффектов и эластичностей ресурсов, включенных в построенные уравнения регрессии.

Ключевые слова: связь, зависимость, уравнение, регрессия, пространственные данные, экономический показатель, модель

EVALUATION OF RATIOS (CORRELATIONS) BETWEEN ECONOMIC INDICATORS OF RUSSIA'S REGIONS ALONG SPATIAL DATA THROUGH THE INSTRUMENTALITY OF REGRESSION EQUATIONS

Adamadziev K.R., Akhmedov A.S.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Dagestan State University, Makhachkala, e-mail: adamadziev@mail.ru

The present article is devoted to the construction and evaluation of the equations of paired regressions, expressing ratios and correlations between key economic indicators of Russia's regions along the data for 2005, 2010, 2015. The necessity of constructing various types of regression equations is substantiated (linear and nonlinear), since their acceptable forms are previously unknown for the description of ratio (correlation) to be researched. For each pair of ratios (correlations), three types of regression equations have been constructed (linear, exponential and power). The necessary information documents have been formed: various tables with initial, intermediate and analytical data, as well as graphs that allow checking beforehand the presence or absence of a correlation relationship between indicator pairs. A model-computer toolkit has been elaborated, which represents a set of formulas created and used in the course of problem solution: regression equations, formulas for determining the statistical characteristics and parameters of regression equations, formulas for intermediate calculations (summation and finding of averages, logarithm and potentiation, etc.), formulas for exponents of marginal effects and elasticity coefficients calculated from regression equations. The acceptability has been substantiated for the majority of constructed paired regression equations that express linear, exponential and power ratios. The analysis of parameters of regression equations and a number of indicators has been carried out that can be determined on the basis of these equations.

 $Keywords: \ ratio,\ correlation,\ equation,\ regression,\ spatial\ data,\ economic\ exponent,\ model$

Выявление, описание и оценки связей и зависимостей в различных сферах экономики стало важной, первостепенной и актуальной задачей. Решение любой задачи в экономике начинается с подготовки исходного информационного обеспечения. В качестве такового нами выбраны величины нескольких ключевых экономических показателей. Целью настоящего исследования является выявление, описание и анализ взаимосвязей (зависимостей) между парами показателей регионов России и их особенности в разные временные периоды по пространственным данным.

Связи (зависимости) между показателями могут быть одно- и многофакторными. Большинство ученых и специалистов, занимающихся проблемами изучения и оценки взаимосвязей между показателями в экономике, считают, что каждый показатель в экономике связан с множеством других и меняется под их влиянием. Поэтому предпочтение отдают построению, описанию и изучению многофакторных связей (зависимостей).

Однако, с нашей точки зрения, построение, описание и оценка многофакторных связей целесообразно и следует строить и анализировать парные связи, а затем на

их основе строить и анализировать многофакторные.

При построении и оценке связей и зависимостей многие ученые ограничиваются построением уравнений регрессии линейного и степенного видов. Связи (зависимости) в экономике носят вероятностный неопределенный характер. Поэтому более правильным является, с нашей точки зрения, построение и анализ и других видов уравнений (показательного, гиперболического, параболического и др. видов). Более того, с нашей точки зрения, для описания одной и той же зависимости могут оказаться приемлемыми два-три вида уравнений регрессии. Именно с таких позиций мы подходили к проведению настоящего исследования.

В табл. 1 приведены величины показателей регионов РФ в разрезе федеральных округов за 2015 г., взаимосвязи между которыми нами исследованы. Из показателей табл. 1 ВРП является результативным (зависимым) показателем, три ресурсных показателя (стоимость основных фондов, численность занятых в экономике, инвестиции) показатели-факторы, от которых зависит ВРП. Сальдированный финансовый результат (СФР) является результативным показателем, который должен зависеть от показателей ресурсов согласно экономической логике. Однако наши исследования показали, что степень корреляционной зависимости СФР от трех показателей-ресурсов оказалось низкой (неудовлетворительной). СФР представляет собой разность между суммой прибыли и суммой убытков. С другой стороны, СФР - часть ВРП, который должен коррелировать с ВРП, т.е. СФР зависит от ВРП. Показатели-факторы (K, L, I) не зависят от ВРП и друг от друга, но они корреляционно связаны. Как известно, в математике, если Y от X, то X в свою очередь

зависит от Ү. В экономике дело обстоит несколько иначе. Здесь между парой показателей возможны: взаимозависимость; взаимосвязь; первый от второго является зависимым, а второй от первого корреляционно связанным и наоборот.

Для выявления, описания и анализа связей (зависимостей) между показателями требуется построить уравнения регрессии, т.е. рассчитать его параметры. Например, самым простым из уравнений является линейное уравнение Y = b + m + X, где Y, X - зависимый и независимый показатели, которые являются заданными, b и m - параметры, которые требуется рассчитать.

Однако прежде чем построить уравнение регрессии требуется выяснить: во-первых, наличие и степень корреляционной зависимости; во-вторых, возможный его вид, поскольку он заранее однозначно не известен. Чтобы ответить на эти вопросы, требуется рассчитать целую группу статистических характеристик. Сущность, назначение и методику расчета каждой характеристики можно найти в публикациях по эконометрике и компьютерному моделированию [2–5].

С нашей точки зрения, нет необходимости в расчете всех статистических характеристик. В каждом конкретном случае можно ограничиться несколькими, наиболее значимыми из них.

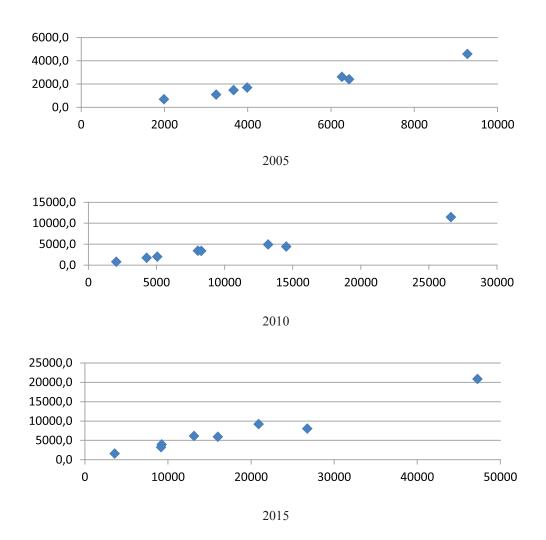
В настоящее время разработаны и широко применяются различные прикладные программы (общего и специального назначения), позволяющие автоматизировать расчеты, связанные с построением уравнений регрессии. В частности, в МЅ Ехсеl имеется инструментарий встроенных математических, статистических и др. функций, позволяющий рассчитывать параметры статистических характеристик и др. показатели, как в отдельности, так и группами одновременно.

Таблица 1 Величины пяти ключевых экономических показателей регионов России в разрезе федеральных округов за 2015 г.

		ВРП, млрд	ОФ, млрд	Числ., тыс.	Инвест., млрд	СФР, млрд	
		руб.	руб.	чел.	руб.	руб.	
		Y	K	L	I	SF	
1	Центральный федер. округ	20820,6	47271	19008	3673	3363,1	
2	Северо-Западный фед. округ	5914,8	16021	6750,2	1439,4	933,9	
3	Южный федеральный округ	3920,3	9255	6161,2	1207,5	304,2	
4	Северо-Кавказский фед. округ	1587,1	3601	3464,1	508,1	26,8	
5	Приволжский федер. округ	9171,1	20928	14115	2447,6	1098,2	
6	Уральский федеральный округ	8001,8	26777	6037,1	2514,1	1575,4	
7	Сибирский федеральный округ	6106,9	13146	9010,1	1382,8	717,4	
8	Дальневост. федеральный округ	3222,5	9188	3267,5	885,7	399,5	
	Российская Федерация	58900,7	147430	67813	14556	8421,7	

Для выявления и оценки парных зависимостей требуется создать различные информационные документы (таблицы, графики, диаграммы и др.). Для разработки таких документов нами разработан модельно-компьютерный инструментарий, включающий математическую и компьютерную модели. Под математической моделью понимается совокупность всех формул, которая должна быть создана в ходе решения задачи, куда входят уравнения регрессии, формулы для определения каждой статистической характеристики и каждого параметра уравнения регрессии, формулы для промежуточных расчетов (например, логарифмирование при построении уравнений регрессии степенного вида, формулы суммирования и нахождения средних арифметических значений показателей и др.), формулы для расчета показателей по уравнениям регрессии, такие как предельный эффект и коэффициент эластичности. Перечислить и привести все эти математические формулы, объединенные нами в понятие «математическая модель», нет необходимости.

Компьютерная модель – понятие относительно новое, толкуемое разными авторами по-разному. С нашей точки зрения, компьютерная модель - это совокупность всех компонентов, разрабатываемых на ПЭВМ для создания всех информационных документов, автоматизации расчетов и процедур обработки информации. В рамках компьютерной модели могут быть созданы (при необходимости) дополнительные аналитические информационные документы. При этом целесообразно все созданные информационные материалы (таблицы, графики и др.), необходимые для анализа и иных целей, перенести в текстовый формат (например, в текстовый файл в MSWord) [6].



Графики зависимости ВРП от стоимости основных фондов по федеральным округам РФ по данным за 2005, 2010 и 2015 гг.

Выявление связей (зависимостей) между парами экономических показателей целесообразно и следует начинать с построения графиков «точек рассеивания». Отметим, что для многофакторных зависимостей построение графиков невозможно. Однако проверить графически можно наличие корреляции зависимого показателя от каждого из показателей-факторов, включаемых в многофакторное уравнение регрессии.

На рисунке приведены графики, построенные нами для выявления наличия связей (зависимостей) ВРП от стоимости основных фондов по федеральным округам РФ по данным за 2005, 2010 и 2015 гг.

Аналогичные графики построены и для других рассматриваемых парных связей. Анализ этих графиков показывает, что между всеми парами исследуемых показателей имеют место корреляционные связи (зависимости), которые, скорее всего, могут быть описаны уравнениями регрессии линейного, показательного и степенного видов. Проведенные нами расчеты и их анализ подтверждают это предположение.

Анализ уравнений регрессии следует начинать с оценки их приемлемости на основе статистических характеристик. В качестве таковых нами выбраны три характеристики: стандартная ошибка для результативного показателя, индекс детерминации, выражающий степень тесноты связи и критерий Фишера и средняя ошибка аппроксимации [4–6].

В соответствии с проведенным нами сравнительным анализом статистических характеристик рассмотренные нами зависимости являются приемлемыми: наиболее предпочтительной она оказалась для зависимости ВРП от стоимости основных фондов, приемлемой, но в меньшей степени она оказалась для зависимости ВРП от численности занятых в экономике. Напомним, что индекс детерминации принимает значения от 0 до 1, т.е. $0 < r^2 < 1$. При этом чем ближе численная величина к единице, тем выше степень корреляционной связи (зависимости).

На основе величин статистических характеристик нами сформулированы аналитические выводы, в частности, по величинам индексов детерминации и по величинам средней ошибки аппроксимации. В соответствии с величинами индексов детерминации:

– по трем зависимостям из четырех степень тесноты корреляций связи составляет более 0,92 для уравнений линейного и степенного вида за 2015 г., при этом уравнения линейного вида предпочтительнее степенных уравнений;

 все три вида уравнения, выражающие зависимости ВРП от численности занятых, примерно равно приемлемы по величинам индекса детерминации (составляет 0,63–0,67).

Сравнение величин индексов детерминации для уравнений за 2010 г. с 2005 г. показывает заметное увеличение степени тесноты корреляции для всех трех видов уравнений, выражающих зависимости ВРП от численности занятых в экономике. Из других зависимостей одни повысились, другие снизились. Но все уравнения оказались приемлемыми: величины индекса детерминации являются высокими или очень высокими. Из величин индексов детерминации для 12-ти пар связей в 2015 г. для 6-ти пар теснота корреляционной зависимости оказалась выше, а для других 6-ти – ниже (для всех уравнений Y от L, двух уравнений Y от I и одного уравнения для зависимости FR от Y), чем в 2005 г.

Анализ приемлемости парных связей (зависимостей) по величинам средней ошибки аппроксимации (A, %) показал, что:

— за 2005 г. линейные Y от K, У от I получили оценку «хорошо», FR от Y — «удовлетворительно», Y от L — «неудовлетворительно», три показательных уравнения» (Y от K, Y от L, Y от I) получили оценку «хорошо» и одно уравнение — «удовлетворительно», все четыре уравнения степенного вида по А получили оценку «хорошо»;

- за 2010 г. линейное уравнение получило одну оценку «удовлетворительно», остальные — неудовлетворительно; для трех уравнений показательного вида величины (А) имеют оценку «хорошо», а одно уравнение — «неудовлетворительно»; все четыре уравнения степенного вида имеют оценку «хорошо», за 2015 г. только одно линейное уравнение оказалось приемлемым (А = 19,4% можно считать удовлетворительным); все показательные и степенные уравнения оказались приемлемыми с оценкой «хорошо».

Таким образом, большинство построенных уравнений парной регрессии, выражающих линейные, показательные и степенные виды зависимостей, оказались приемлемыми для описания и оценки исследуемых связей (зависимостей).

Конечной задачей исследователя—аналитика является определение и оценка ряда показателей, ради которых в конечном итоге строятся уравнений регрессии [3, 4, 6]. Для уравнений парной регрессии к таким показателям относятся: предельные эффекты и эластичности затратно-ресурсных показателей. Они рассчитываются по формулам $\frac{dY}{dX}$ и $E_X = \frac{dY}{dX} * \frac{X}{Y}$ соответственно. Сущность и экономический смысл этих показателей можно найти в публикациях [3, 4].

 Таблица 2

 Виды и математическая запись уравнений парной регрессии, выражающие зависимости между ключевыми показателями федеральных округов за разные временные периоды

	2005	2010	2015
Y от K			
лин	Y = -487,7 + 0,5153*K	Y = -230, 8 + 0, 41321*K	Y = -487, 7 + 0,5153 * K
показ	$Y = 523,3*1,00024^{K}$	$Y = 1167, 4*1,000094^{K}$	$Y = 523,3*1,00024^{K}$
степ	$Y = 0,0551 * K^{1,2376}$	$Y = 0,4274 * K^{0,9899}$	$Y = 0,0551 * K^{1,2376}$
Y ot L			
лин	Y = 125, 0 + 0, 20600 * L	Y = -642, 0 + 0,55253 * L	Y = 125, 0 + 0, 20600 * L
показ	$Y = 713,9*1,00010^{L}$	$Y = 1053, 5*1,00013^{L}$	$Y = 713,9 * 1,00010^{L}$
степ	$Y = 0,3873 * L^{0,9375}$	$Y = 0,0430 * L^{1,2670}$	$Y = 0,3873 * L^{0,9375}$
Y от I			
лин	Y = -653, 6+5, 61681*I	Y = -2422, 5 + 6,13098 * I	Y = -653, 6+5, 61681*I
показ	$Y = 496,5*1,00261^{I}$	$Y = 588, 6*1,00157^{I}$	$Y = 496,5 *1,00261^{I}$
степ	$Y = 0,5849 * I^{1,3158}$	$Y = 0,3298 * I^{1,3391}$	$Y = 0,5849 * I^{1,3158}$
FRот Y			
лин	FR = -220, 6 + 0,31041*Y	FR = -249, 2+0, 24757 * Y	FR = -220, 6 + 0,31041*Y
показ	$FR = 52,7*1,00078^{Y}$	$FR = 107,9*1,00033^{Y}$	$FR = 52,7*1,00078^{Y}$
степ	$FR = 0,0004 * Y^{1,7882}$	$FR = 0,0005 * Y^{1,6931}$	$FR = 0,0004 * Y^{1,7882}$

 Π р и м е ч а н и е . Y — ВРП, млрд руб.; K — стоимость основных фондов, млрд руб.; L — численность занятых в экономике, тыс. чел.; I — инвестиции, млрд руб.; FR — сальдированный финансовый результат, млрд руб.

Виды построенных нами уравнений парной регрессии и их математическая запись приведены в табл. 2.

Предельные эффекты показывают рост зависимого показателя в денежных измерителях на единицу роста показателя фактора, а коэффициент эластичности — рост результативного показателя в процентах на однопроцентный рост показателя-фактора.

Заслуживают внимания два особых случая: в случае линейной зависимости предельный эффект показателя-фактора равен параметру при этом факторе, т.е. $\frac{dy}{dx} = m$; в случае зависимости степенного вида коэффициент эластичности показателя-фактора равен показателю степени, т.е. $E_x = m$. Величины предельного эффекта и коэффициента эластичности для построенных нами уравнений парной регрессии приведены в табл. 3.

По величинам предельного эффекта для линейных уравнений из табл. 1 можно отметить следующее:

а) для уравнения Y от K величины предельного эффекта можно выразить неравенством за 2005 г. больше, чем за 2015 г.,

а последнее, в свою очередь, больше чем за $2010\ \Gamma$. ($2005\ \Gamma$. > $2015\ \Gamma$. > $2010\ \Gamma$.);

б) для уравнений Y от L получены следующие соотношения: $2005 \, \text{г.} > 2015 \, \text{г.} > 2010 \, \text{г.}$, для Y от I: 2010 > 2005 > 2015, для FR от Y: $2005 \, \text{г.} > 2010 \, \text{г.} > 2015 \, \text{г.}$

Таблица 3
Величины предельного эффекта и коэффициента эластичности (параметров m) для уравнений парной регрессии линейного и степенного видов

Годы	Ү от К	Y ot L	Y от I	FR ot Y			
	Для линейного вида						
2005	0,5153	0,2060	5,6168	0,3104			
2010	0,4132	0,5525	6,1310	0,2476			
2015	0,4235	1,0055	5,4280	0,1641			
	Для степенного вида						
2005	1,2376	0,9375	1,3158	1,7882			
2010	0,9899	1,2670	1,3391	1,6931			
2015	0,9544	1,2189	1,2102	0,7893			

 Π р и м е ч а н и е . Y — ВРП; К — стоимость основных фондов; L — численность занятых в экономике; I — инвестиции; FR — сальдированный финансовый результат.

Такие же соотношения можно определить по величинам коэффициента эластичности для уравнения степенного вида:

- а) для уравнения Y от K коэффициент эластичности за 2005 г. больше, чем за 2010, а за 2010 г. больше, чем за 2015 г.;
 - б) для Y от L: $2010 \, \Gamma$. $> 2015 \, \Gamma$. $> 2005 \, \Gamma$.;
 - в) для Y от I: 2010 г. > 2005 г. > 2015 г.;
 - г) для FR от Y: 2010 г. > 2005 г. > 2015 г.

Как видно из данных табл. 2, за 2010 и 2015 гг. предельный эффект и коэффициент эластичности резко выросли для уравнений, выражающих зависимость ВРП от численности занятых в экономике, для уравнений, выражающих остальные зависимости – предельные эффекты и коэффициенты эластичности уменьшились. Это свидетельствует об ухудшении эффективности использования ресурсов.

Сформулируем некоторые выводы из данных табл. 2:

- а) по величинам предельного эффекта для уравнений регрессии линейного вида:
- для зависимости Y от K предельный эффект оказался максимальным по данным 2005 г., по данным за 2010 г. этот показатель существенно снизился, следующие пять лет эффект практически остался на уровне 2010 г.;
- предельный эффект для зависимости ВРП от численности занятых в экономике (Y от K) имеет четко выраженную тенденцию роста (эффект каждые пять лет удва-ивался), что является фактом положительным, свидетельствующим о росте отдачи от использования рабочей силы;
- предельный эффект для зависимости Y от I имеет свои особенности: в 2010 г. он заметно вырос, но в 2010 г. он снизился и оказался ниже уровня 2005 г., что является фактом отрицательным;
- четкая, но отрицательная тенденция наблюдается по предельным эффектам для зависимости сальдированного финансового результата от ВРП (FR от Y);
- в 2010 г. он снизился на 20%, а в 2015 г. еще на 35%;
- б) по величинам коэффициентов эластичности для уравнений степенного вида (уменьшение коэффициентов эластичности

свидетельствует о снижении эффективности использования ресурсов):

- для зависимости \dot{Y} от \ddot{K} по пятилетиям имеет место тенденция уменьшения (с 1,24% в 2005, до 0,99 в 2010 и до 0,95 в 2015 г.);
- величина коэффициента эластичности для зависимости Y от K в 2010 г. существенно выросла (более чем на 30%), в 2015 г. уменьшилась по сравнению с 2010 г., но была заметно больше, чем в 2005 г.;
- эластичность инвестиции в 2005 и 2010 гг. практически была на одном уровне, но в 2015 г. она уменьшилась на 10 % по сравнению с 2005 г.;
- эластичность ВРП по отношению к сальдированному финансовому результату в 2010 г. снизилась на 5%, но в 2015 г. снижение составило 2,3 раза (с 1,79 до 0,79%).

Таким образом, анализ показывает, что за три временных периода 2005, 2010 и 2015 гг. из трех ключевых ресурсов экономики регионов России (стоимости основных фондов, численности занятых в экономике, инвестиции) повышение эффективности использования наблюдается только для одного ресурса — численности работников; эффективность использованных двух денежных ресурсов — ухудшилась.

Список литературы

- 1. Россия в цифрах 2016: Крат. Стат. Сб. / Росстат. М., $2016.-543\ c.$
- 2. Адамадзиев К.Р., Адамадзиева А.К. Моделирование и оценка стохастических связей между ключевыми показателями групп регионов России // Фундаментальные исследования. -2016. -№ 4-3. -C. 550-556.
- 3. Айвазян С. А. Основы эконометрики. Учебник для вузов. Т. 2. М.:ЮНИТИ-ДАНА.2001. 432 с.
- 4. Кремер Н.Ш., Путко Б А. Эконометрика: учебник для вузов. М: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 311 с.
- 5. Долятовский В.А., Долятовский Л.В. Модели управления социально-экономическими системами на основе соотношения неопределенностей. Математическая экономика и экономическая информатика: Материалы Научных чтений, посвященных 75-летию со дня рождения выдающегося экономиста-математика, доктора экономических наук, профессора Кардаша Виктора Алексеевича (10.10.1935 г.—12.05.2010 г.) (г. Кисловодск. 10—12 октября 2010 г.) / Ростовский государственный экономический университет (РИНХ). Ростов-н/Д., 2011. 616 с.
- 6. Адамадзиев К.Р., Адамадзиева А.К. Компьютерное моделирование в экономике: учебное пособие. Махачкала: Издательско-полиграфический центр ДГУ, 2014. 211 с.

УДК 332.144

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акопян А.Э., Дорохова Е.И., Капитан С.А.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: yelena.dorokhova@gmail.com

Авторами статьи исследованы различные подходы к оценке инновационной деятельности, которая, по их мнению, является ключевым фактором стимулирования роста региональной экономики и формирования региональной инновационной системы. Обоснована методика оценки уровня инновационного развития регионов. На основании предложенной методики рассчитаны показатели инновационного потенциала, что позволило определить позиции федеральных округов в инновационном рейтинге Российской Федерации. В зависимости от рейтинга федеральные округа были распределены в группы, характеризующие уровень развития инновационного потенциала: А – высокий уровень инновационного потенциала, В – средний уровень инновационного потенциала. Определены факторы, влияющие на место региона в рейтинге, и исследована динамика инновационного развития федеральных округов в 2013—2015 гг. Исследование выявило неравномерность инновационного развития регионов, что свидетельствует о существовании ряда проблем. Сформулировав проблемы инновационного развития, авторы обозначили перспективные направления их решения.

Ключевые слова: региональная инновационная система, оценка уровня инновационного развития региона, инновационный потенциал, инновационный рейтинг, проблемы и перспективы инновационного развития

SPECIAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF FEDERAL DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Akopyan A.E., Dorokhova E.I., Kapitan S.A.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State National Research University», Belgorod, e-mail: yelena.dorokhova@gmail.com

The authors of the article explore different approaches to evaluation of the innovative activities which, in their opinion, constitute a major factor for stimulation of growth of the regional economy and formation of the regional innovative system. The methodology for evaluation of the innovative development level of the regions is justified. The indices of the innovative potential are calculated based on the suggested methodology which allowed to position the federal districts in the rating of the Russian Federation for innovation. Based on the rating the federal districts were divided into groups which characterize the level of innovative potential: A – high level of innovative potential; B – medium level of innovative potential; C – low level of innovative potential. Factors that influence the position of a region in the rating were determined and the dynamics of the innovative development of the federal regions in 2013–2015 was analyzed. The analysis educed disparity in innovative development of the regions which attests to the existence of a number of problems. Having defined the problems of the innovative development, the authors suggested prospective directions for the solution thereof.

Keywords: regional innovative system, evaluation of the level of the region's innovative development, innovative potential, rating of federal districts, problems and prospects of the innovative development

Ключевым фактором стимулирования роста региональных экономик выступает инновационная деятельность. Это обуславливает необходимость формирования стабильных, динамично развивающихся региональных инновационных систем. Значимость инновационной составляющей регионального развития подчеркивается на федеральном уровне в рамках Стратегии инновационного развития России на период до 2020 г. «Инновационная Россия» [1]. В ней определены и четко сформулированы основные направления регионального инновационного развития, предполагающие стабильный рост и расширение сферы инноваций, а также инновационного потенциала регионов. Однако на протяжении последних лет наблюдается обратная тенденция в динамике основных показателей инновационной деятельности, что обуславливает актуальность темы и определяет цель исследования, которая состоит в комплексной оценке инновационного потенциала, выявлении проблем и направлений инновационного развития регионов Российской Федерации.

Различные аспекты инновационного развития региона, в том числе: структура, методология оценки, факторы повышения эффективности инновационной деятельности, изучены в трудах С.И. Дворецкого [2], В.Г. Матвейкина [2]., А.Р. Бахтизина [3], Е.П. Маскайкина [4], Е.И. Дороховой [5], А.В. Пьянковой [6, 7], Ж.А. Мингалева [8], Л.А. Мыльникова [9], О.В. Москвиной [10]. Однако, несмотря на широкую изученность

данной темы, создание инновационно-ориентированной экономики в РФ все еще является перспективной задачей.

Для оценки инновационного потенциала в зарубежной и российской практике используются индикаторные или индексные методы, основанные на оценке переменных, интерпретирующие качественные и количественные характеристики [5]. Однако расчет и анализ таких показателей в отечественной практике ограничен как недостатком соответствующей информации (особенно в региональном разрезе), так и отсутствием собственно методики их расчета в разрезе основных составляющих инновационного потенциала. Отсутствует также научное обоснование необходимого и достаточного числа и состава показателей, оценивающих инновационный потенциал.

В большом числе предлагаемых методик предпочтение отдается использованию балльного метода или экспертного для оценки каждой переменной. Как показывает практика, использование экспертного метода предполагает наличие субъективного фактора, также зачастую вызывает сложность поиск компетентных экспертов, нет возможности математической оценки достоверности результата исследования.

Таким образом, современная отечественная методология не всегда объективно отражает инновационные процессы, а значит, проблематично её использование для принятия обоснованных управленческих решений.

С целью совершенствования подходов к оценке инновационного потенциала нами предложена методика комплексной оценки состояния инновационного потенциала территории.

Инновационное развитие экономики России в целом определяет уровень развития региональной инновационной системы (РИС). РИС представляет собой совокупность государственных региональных институтов, организаций научно-технической, образовательной, финансово-кредитной сфер и предпринимательского сектора, взаимодействующих с целью ускоренной реализации результатов интеллектуальной деятельности на рынке высокотехнологичной наукоемкой продукции, как элемента национальной инновационной системы [11, с. 227]. Формирование и уровень развития РИС непосредственно зависят от инновационного потенциала региона, представляющего собой совокупность потенциалов экономической системы, представленных соответствующими ресурсами человеческими, (научно-техническими, интеллектуальными, технологическими и др.). Поскольку инновационный потенциал является интегрированной категорией, с целью его комплексной оценки, авторами использована методика интегральной оценки инновационного потенциала регионов [12, с. 1115]. Данная методика включает 28 единичных показателей (К_i), характеризующих различные аспекты инновационной деятельности: 24 индикатора разработаны Федеральной службой государственной статистики, представленные в разделе «Наука и инновации» [13], и 4 индикатора, представлены НИУ ВШЭ совместно с министерством экономического развития и Федеральной службой государственной статистики в соответствии с международными стандартами ОЭСР и Евростата [14, с. 241–283].

Эти показатели нами сведены в шесть групп по видам инновационного потенциала: интеллектуальный и профессиональный потенциал (N₁); экологический потенциал (N_2) ; организационный потенциал (N_3) ; производственный и технологический потенциал (N₄); финансовый и инвестиционный потенциал (N₅); группа показателей факти-

ческой производительности (N_6) . Абсолютные показатели необходимо привести в сопоставимый вид посредством расчета их относительных значений:

$$K_{rel} = \frac{K_{abs}}{K_{base}} \times 100 , \qquad (1)$$

где K_{pel} — относительное значение показателя в %;

 K_{abs} — абсолютное значение показателя; K_{hase} — основание (база сравнения).

 K_{base}^{aos} — основание (оаза сравнения для показавистве базы сравнения для показавись в поставленый региональный телей выступают валовой региональный продукт (для K_{52} , K_{54} , K_{55} , K_{56} , K_{57} , K_{64}), численность занятых в экономике в регионе (для K_{11} , K_{12} , K_{13}), общее число передовых производственных технологий в РФ (для K_{4}), общее количество патентных заявок в $P\Phi$ (для K_{63}).

Далее для комплексной оценки инновационного потенциала региона представляется целесообразным использовать групповой интегральный показатель, определяемый как корень п степени из произведения всех входящих в него п индикаторов для групповых индикаторов N_1 - N_6 :

$$N_i = \sqrt[n]{K_{i1} \times K_{i2} \times ... \times K_{in}} , \qquad (2)$$

где N — групповой показатель инновационного потенциала;

 K_{in} — относительное значение единичного показателя;

n – количество единичных показателей в группе.

Федераль-	2013			2014			2015		
ный округ	Значение ИПИП	Место в рейтинге	Группа по ИПИП	Значение ИПИП	Место в рей- тинге	Группа по ИПИП	Зна- чение ИПИП	Место в рей- тинге	Группа по ИПИП
ПФО	44,7	2	A	40,06	2	A	42,8	1	A
ЦФО	45,6	1	A	44,84	1	A	41,3	2	A
УФО	37,8	4	В	37,51	4	В	36,2	3	В
СЗФО	40,8	3	A	40,01	3	A	34,6	4	В
СФО	34,7	5	В	34,18	5	В	34,4	5	В
ДФО	27,6	7	С	27,1	8	C	29,5	6	C
ЮФО	31,8	6	В	31,99	6	В	25,9	7	C
СКФО	23,7	8	С	23,56	7	C	24,5	8	C
Среднее	35,8	_	_	34,9	_	_	33,7	_	_

Рейтинг федеральных округов Российской Федерации по интегральному показателю инновационного потенциала (ИПИП) в 2013–2015 гг.

Примечание. *Без учета Крымского федерального округа. Рассчитано по данным: [14, 13].

По результатам произведенных расчетов определяются интегральные показатели инновационного потенциала регионов R_i по формуле

$$Ri = \sum_{i=1}^{m} N_i \,, \tag{3}$$

где N_{i} — групповой показатель инновационного потенциала;

Ri — интегральный индекс инновационного потенциала региона.

Воспользуемся приведенной методикой для расчета инновационного потенциала восьми федеральных округов Российской Федерации: Центрального (ЦФО), Северо-Западного (СЗФО), Южного (ЮФО), Северо-Кавказского (СКФО), Приволжского (ПФО), Уральского (УФО), Сибирского (СФО) и Дальневосточного (ДФО) за 2013—2015 гг. Анализ данных по Крымскому федеральному округу не представляется возможным ввиду отсутствия ряда статистических показателей. Результаты расчета позволили сформировать общий рейтинг регионов РФ по показателю инновационного потенциала (таблица).

Результаты расчета позволяют объединить оцениваемые регионы в следующие группы:

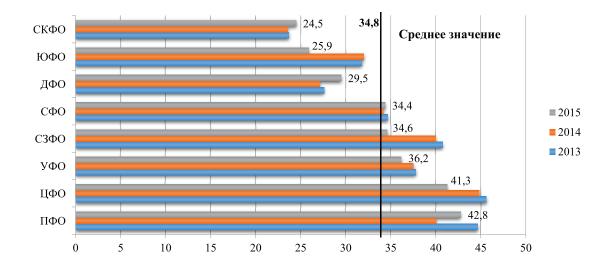
- группа «А» высокий уровень инновационного потенциала (> 40);
- группа «В» средний уровень инновационного потенциала (30–39);
- группа «С» низкий уровень инновационного потенциала (21–29);
- группа «D» очень низкий уровень инновационного потенциала (< 20).

Согласно рейтингу, в группу регионов «А» с высоким уровнем инновационного потенциала вошли Приволжский и Центральный федеральные округа. Первенство Приволжского федерального округа в 2015 г. связано с его лидирующими позициями по объемам промышленного производства в стране. В округе получили развитие такие наукоемкие отрасли, как точное машиностроение и автомобилестроение, а также предприятия оборонно-промышленного комплекса, где инновации и новейшие технологии играют ключевую роль. На территории округа находятся 4 из 15 научных центров Российской академии наук: Уфимский, Самарский, Саратовский и Нижегородский. Следует отметить отсутствие положительной динамики показателя до 2014 г. (44,7-2013 г., 40,06-2014 г.), что во многом обусловлено сокращением объемов государственного финансирования научных исследований, а также сокращением числа малых и средних предприятий в сфере инноваций. Однако в 2015 г. отмечена положительная динамика показателя инновационного потенциала.

Вторую позицию в рейтинге в 2015 г. занял Центральный федеральный округ, впервые уступив свое первенство по инновационному потенциалу. Главным фактором, обуславливающим высокие позиции региона, является его первенство по показателю научно-технического потенциала. В составе округа находятся 11 из 14 официальных наукоградов Российской Федерации, в которых сосредоточена большая часть научно-технического потенциала страны, в том числе 1/2 общей численности научных работни-

ков РФ осуществляют профессиональную деятельность на территории округа. При этом округ находится на первом месте по использованию передовых производственных технологий [13]. Однако общий показатель инновационного потенциала за последние годы сокращался, чему в большей мере способствовало сокращение таких единичных показателей, как количество частных инновационно ориентированных организаций, затраты на НИОКР, количество аспирантов [13].

Европы, инновационно-ориентированных производств, а также ряда научных центров и инновационных инкубаторов (Мурманский региональный инновационный бизнес-инкубатор, Санкт-Петербургский научный центр РАН и др.). Такие показатели, как инновационная активность (10,3%), удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, также иллюстрируют относительное преимущество округа [13].



Динамика инновационного потенциала регионов $P\Phi$ в 2013–2015 гг.

Уральский федеральный округ в 2015 г. вошел в группу «В» со средним уровнем инновационного потенциала. Данная позиция обоснована тем, что округ лидирует по таким ключевым индикаторам, как внедрение и использование инноваций, обеспечивающих повышение экологической безопасности, количество применяемых организационных инноваций, включая участие организаций в совместных проектах по осуществлению научных исследований [13]. Основным фактором, способствовавшим улучшению позиции округа, стало увеличение объема выпускаемых в регионе инновационных товаров, работ, услуг.

Четвертую позицию в рейтинге занимает Северо-Западный федеральный округ (группа «В»), который в 2013 и 2014 гг. входил в группу «А», однако по данным 2015 г. опустился на 4 строчку рейтинга по причине сокращения инновационной активности предприятий и затрат на НИОКР. При этом округ отличается инвестиционной привлекательностью, обусловленной, наличием морских путей сообщения со странами

Сибирский федеральный округ в 2015 г. занял третью позицию в группе «В». Регион характеризовался невысоким уровнем показателей инновационного потенциала, таких как инновационная активность, объем инновационных товаров, работ, услуг, объем затрат, связанных с инновационной деятельностью, и т.д.

Группа «С» с низким уровнем инновационного потенциала в 2015 г. включала Дальневосточный (29,5), Южный (25,9) и Северо-Кавказский (24,5) федеральные округа, имеющие низкие значения единичных показателей инновационного потенциала.

В целом за исследуемый период отдельные федеральные округа характеризовались снижением инновационного потенциала, происходящим на фоне роста показателя в других округах (рисунок).

Так, отрицательная динамика значения показателя в течение исследуемого периода наблюдалась во всех регионах группы «А» (от –4,2% до –9,4%), а также в Уральском (–3,5%), Северо-Западном (–15,2%) федеральных округах. Основными фактора-

ми, обусловившими снижение показателя, явились: сокращение интеллектуального потенциала, уменьшение затрат на производство инновационной продукции, сокращение показателей организационного потенциала, таких как участие организаций в совместных проектах, доля организаций, применяющих в своей деятельности организационные инновации и т.д.

Рост показателя инновационного потенциала за исследуемый период наблюдался в Дальневосточном федеральном округе (6,9%) и Северо-Кавказском федеральном округе (3,4%). В этих регионах за исследуемый период произошло увеличение внутренних текущих затрат на научные исследования, удельного веса затрат на технологические инновации.

Инновационный потенциал в Сибирском федеральном округе снизился в 2014 г. (-1,5%) и вырос в 2015 г. (6,4%), в результате за исследуемый период изменился незначительно (-0,3). Рост показателя в 2015 г. обусловлен увеличением удельного веса инновационных предприятий, что способствовало повышению инновационной активности региона в отличие от общей тенденции по стране. Кроме того, в Сибирском федеральном округе наблюдалось повышение показателя экологического потенциала за счет роста числа организаций, в которых функционируют экологичные производства, а также увеличения объема экологичных товаров.

Таким образом, использование предложенной методики позволило оценить состояние и тенденции развития инновационного потенциала регионов РФ, а также выявить причины сложившегося положения.

Так, проведенное авторами исследование показало, что инновационный потенциал регионов РФ значительно различается, что свидетельствует о существовании ряда проблем. При этом общими для всех регионов являются следующие проблемы: большая доля морального и физического износа существующей материально-технической базы; недостаток отечественных научных разработок; низкий уровень финансирования инновационных проектов; ограниченность источников финансирования; слабое развитие инфраструктуры. Наиболее инновационно развитые регионы представлены Приволжским и Центральным федеральными округами, которые стабильно возглавляют рейтинг уже на протяжении нескольких лет. Аутсайдеры рейтинга имеют показатель инновационного потенциала на 75% ниже, чем у лидера, что подтверждает неравномерность инновационного развития регионов. Повсеместная тенденция к сокращению показателя свидетельствует не только о наличии слабых сторон в каждом конкретном регионе, но и о серьезных проблемах в части инновационного развития по всей стране, которые требуют структурных перемен.

Считаем, что решение проблем инновационной деятельности и формирование инновационной экономики должно происходить поэтапно. Первый этап на пути формирования инновационной экономики связан с коммерциализацией и диффузией новшеств при условии сформированных региональных рынков, включая инфраструктуру, финансовое и законодательное обеспечение и т.д. Второй этап инновационного развития является логическим продолжением первого, так как в рамках данного этапа в большей степени происходит интенсификация инновационной деятельности, выраженная через различные формы интеграции, внедрение новых подходов к организации и управлению, сформированные каналы сбыта, применение инноваций в государственной сфере. Завершающим этапом является формирование конкурентоспособной среды, представленной компаниями, обладающими высокой инвестиционной привлекательностью и, соответственно, обширным инновационным потенциалом.

Таким образом, основой для создания развитой национальной инновационной системы является успешная инновационная политика на уровне регионов. При этом достижение наибольших результатов представляется возможным в случае согласованности действий основных субъектов инновационной деятельности: федеральной и региональной власти, науки, образования, бизнеса и финансовых структур, представленных банками, кредитными учреждениями, лизинговыми компаниями и др.

Список литературы

- 1. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года «Инновационная Россия 2020». М., 2011. URL: http://www.economy.gov.ru/ (дата обращения: 17.11.2017).
- 2. Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития: монография / В.Г. Матвейкин, С.И. Дворецкий, Л.В. Минько [и др.]. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007.-284 с.
- 3. Бахтизин А.Р. Сравнительные оценки инновационного потенциала регионов Российской Федерации / А.Р. Бахтизин, Е.В. Акинфеева // Проблемы прогнозирования. -2010. -№ 3. C. 73-81.
- 4. Маскайкин Е.П. Инновационный потенциал региона: сущность, структура, методика оценки и направления развития / Е.П. Маскайкин, Т.В. Арцер // Вестник ЮУрГУ. 2013. N 21. C. 47–53.
- 5. Дорохова Е.И. Развитие конкурентоспособности Белгородской области на основе кластерного подхода // Актуальные проблемы экономики в условиях реформирования

- современного общества: материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию со дня основания НИУ «БелГУ». Белгород, 2016. С. 62–65.
- Пьянкова А.В. Инновационное развитие как фактор устойчивого роста экономики Германии / А.В. Пьянкова, Е.И. Дорохова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 3. – С. 94–99.
- 7. Пьянкова А.В. Методические подходы к оценке влияния отдельных факторов на состояние и тенденции социально-экономического развития региона / А.В. Пьянкова, Е.И. Дорохова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: https://science-education.ru/ru/issue/view?id=111.
- 8. Мингалева Ж.А. Влияние факторов внешней и внутренней среды на структуру инновационного потенциала // Инновационное развитие регионов: методы оценки и поддержка исследования: межвуз. сб. науч. статей. Перм. гос. ун-т. Пермь. 2013. С. 5–34.
- 9. Мыльникова Л.А. Инновационный потенциал и экономическое развитие // Управление экономическими системами. 2014. № (65) УЭкС, 5/2014 [Электронный ресурс]. URL: http://uecs.ru/uecs65-652014/item/2920-2014-05-28-06-51-20 (дата обращения: 18.11.2017).

- 10. Москвина О.С. Инновационный потенциал как фактор устойчивого развития региона / О.С. Москвина // Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз. 2005. № 30. С. 16–25. URL: https:// cyberleninka.ru/article/v/k-voprosu-o-strategii-i-taktike-razviti-ya-regiona-2 (дата обращения: 16.11.2017).
- 11. Акопян А.Э. Инновационный потенциал и инновационная активность российских предприятий / А.Э. Акопян, Е.И. Дорохова // Ямальский вестник. 2016. № 1 (6). С. 226—232.
- 12. Dorokhova E.I. Evaluation of the innovation potential of the regions of the Central Federal District of the Russian Federation // Medwell Journals: International Business Management. -2015. N $_{2}$ 9 (6). P. 1112–1118.
- 13. Наука и инновации. Наука, инновации и информационное общество: официальная статистическая информация // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/ statistics/science_and_ innovations/science# (дата обращения: 16.11.2017).
- 14. Индикаторы инновационной деятельности 2015: статистический сборник / Н.В. Городникова, Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский [и др.]. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2015. 320 с.

УДК 330.322.3:339.137:378.4

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ

Волошин А.В., Александров Ю.Л.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: a voloshin2010@hotmail.com

В статье авторами предложены принципы и оригинальная методика оценки конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования. Сущность методики отражает особенности сферы высшего образования, предполагает сравнение значений частных показателей и расчет обобщающего показателя конкурентоспособности. Простота и универсальность методики позволяет её применять к любой образовательной организации высшего образования. Частные показатели конкурентоспособности, систематизированные авторами, несмотря на свою обширность, легко подвергаются анализу, так как являются стандартными для университетов и публикуются в открытом доступе на регулярной основе. Особеностью предложенных показателей является возможность оценки конкурентоспособности университетов на международном уровне и в рамках национальной системы высшего образования. Предложенный целостный подход позволяет комплексно оценить конкурентоспособность образовательных организаций высшего образования и может послужить основой для формирования национального рейтинга вузов.

Ключевые слова: методика оценки конкурентоспособности, показатели конкурентоспособности, конкурентоспособность университетов, рейтинг университетов

THE COMPETITIVENESS OF INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION IN THE EDUCATIONAL MARKET: METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSMENT

Voloshin A.V., Aleksandrov Yu.L.

Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: a voloshin2010@hotmail.com

In the article the authors proposed principles and original methodology for assessing the competitiveness of organizations in the market of educational services of higher education. The essence of the methodology reflects the peculiarities of the sphere of higher education, involves the comparison of the values of particular indicators and the calculation of a generalizing indicator of competitiveness. Simplicity and universality of the methodology allows it to be applied to any educational organization of higher education. Particular competitiveness indicators, systematized by the authors, despite their vastness, are easily analyzed, since they are standard for universities and are published in open access on a regular basis. A feature of the proposed indicators is the possibility of assessing the competitiveness of universities at the international level and within the national system of higher education. The proposed holistic approach makes it possible to comprehensively assess the competitiveness of educational institutions of higher education and can serve as the basis for the formation of a national university rating.

Keywords: competitiveness assessment methodology, competitiveness indicators, universities competitiveness, universities rating

Среди большого количества исследований, посвященных методам оценки конкурентоспособности, целесообразно отметить работы следующих авторов: Р.А. Фатхутдинова, Е.С. Подборновой, Л.Н. Чайниковой, В.Н. Чайникова [1–3]. Внимание методологическим аспектам исследования конкурентоспособности организаций уделено в работах И.В. Пунгина, Д.А. Ченченко, В.Й. Захарченко [4-6]. А.А. Воронов, О.В. Сливной и С.Д. Резник в своих работах [7-9] предложили оригинальный подход к оценке конкурентоспособности, при этом С.Д. Резник [9] уделяет существенное внимание конкурентоспособности образовательных организаций высшего образования. Отдельные аспекты конкурентоспособности рассмотрены в работах Ю.Ю. Сусловой [10-14], а авторы статьи предприняли попытку анализа методологических и концептуальных положений формирования механизма повышения конкурентоспособности организаций в работах [15–17], при этом рассмотрев специфику рынка образовательных услуг и существующие методические подходы к оценке конкурентоспособности в статьях [18–19].

Проведенное исследование привело авторов к заключению, что многообразие существующих методических подходов к оценке конкурентоспособности организаций не позволяет выделить какой-либо универсальный метод оценки, применимый в том числе и для анализа в сфере высшего образования.

Авторский подход к оценке достигнутого уровня конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования основывается на сравнении значений частных показателей с наилучшим представителем в группе оценки, определении значений агрегированных по-

казателей конкурентоспособности, оценке их веса и расчете обещающего показателя конкурентоспособности в рамках функциональной группы и последующем определении обобщающего показателя конкурентоспособности образовательной организации.

Этапы оценки конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования:

1. Формирование перечня образовательных организаций высшего образования, в отношении которых будет проводиться оценка конкурентоспособности — группы оценки.

Методика не предполагает ограничений по максимальному числу образовательных организаций, но так как процедура оценки основана на сравнительном подходе, то их количество не может быть меньше двух.

Предлагаемый автором методический подход позволяет осуществлять оценку конкурентоспособности образовательной организации высшего образования в Российской Федерации, так как набор показателей оценки является универсальным и общедоступным.

Группа оценки может быть сформирована по следующим признакам:

- региональный признак предполагает проведение оценки вузов в рамках федерального округа или конкретного субъекта федерации;
- принадлежность образовательных организаций к федеральным или национальным исследовательским университетам может использоваться как признак группировки;
- профиль образовательной организации позволяет сопоставить конкурентоспособность вузов экономического, медицинского или другого профиля с аналогичными учебными заведениями.
 - и др.
- 2. Определение перечня частных и агрегированных показателей, формирование групп показателей конкурентоспособности.

Совокупность показателей, посредством которых осуществляется оценка конкурентоспособности, группируется по функциональному признаку:

- показатели международной конкурентоспособности;
 - показатели «проекта 5-100»;
- показатели деятельности образовательных организаций, формализованные в отчетах о самообследовании последних.

Понимание миссии образовательной организации и её цели: «Формирование международной конкурентоспособности посредством развития научного и образовательного потенциала» — определяет структуру и содержание показателей конку-

рентоспособности, перечень которых представлен в табл. 1.

Приведенный в табл. 1 подход к группировке показателей позволяет оценить конкурентоспособность с различных позиций. Группа международных показателей характеризует международный уровень конкурентоспособности образовательной организации. Группа показателей «проекта 5–100» эффективность характеризует государственной поддержки и усилия университетов по повышению уровня конкурентоспособности. Группа показателей деятельности образовательных организаций позволяет оценить их конкурентоспособность на локальном уровне в разрезе конкретных видов деятельности.

Оценка показателей табл. 1 основана на сравнительном подходе, при использовании которого необходимо учитывать специфику образовательных организаций, подвергаемых оценке, в контексте отражения их позиций в различных авторитетных международных рейтингах. В частности, методика предполагает оценку позиций вузов в таких рейтингах, как: Academic Ranking of World Universities, The Times Higher Education World University Rankings, QS World University Rankings, QS BRICS. Сам факт участия в приведенных рейтингах свидетельствует о высокой конкурентоспособности образовательной организации в рамках своего региона.

Таким образом, приведенный в табл. 1 перечень показателей позволяет комплексно оценить конкурентоспособность образовательной организации высшего образования.

- 3. Сбор данных предполагает использование в качестве основного источника информации отчетов о самообследовании образовательных организаций высшего образования, а также информационных ресурсов Scopus, Web of Science и SciVal.
- 4. Расчет отношений частных показателей конкурентоспособности, которые имеют вид

$$I_{ij} = \frac{K_{ij}}{K_{i,\text{max}}},\tag{1}$$

где I_{ij} — отношение значения i-го частного показателя конкурентоспособности к максимальному значению i-го показателя среди подвергаемых оценке образовательных организаций для j-й образовательной организации;

 K_{ij} — значение i-го частного показателя конкурентоспособности для j-й образовательной организации;

 $K_{imax}^{'}$ — максимальное значение *i*-го показателя для образовательных организаций, подвергаемых оценке.

Таблица 1

Показатели конкурентоспособности (составлено авторами)

Harr	Have reveneure vecesses and a second
Наименование агрегированного	Наименование частных показателей конкурентоспособности
показателя конку-	
рентоспособности	
	Показатели международной конкурентоспособности
Достижения в науке	Количество публикаций в журналах, входящих в ТОП-25% по SNIP, за три календарных года по данным Scopus
	Количество публикаций в журналах, входящих в ТОП-25% по цитируемости, за три календарных года по данным Scopus (SciVal)
Достижения	Средний балл ЕГЭ поступивших на бюджетные места
в образовании	Средний балл ЕГЭ поступивших на внебюджетные места
	Доля магистров и аспирантов, получивших базовое образование в других образовательных организациях
	Отношение средней стартовой заработной платы выпускников к средней заработной плате в отрасли (регионе)
	Доля иностранцев, проходящих неполный цикл обучения в образовательной организации
	Доля иностранных студентов, обучающихся по основным образовательным программам
Эффективное использование	Объем внебюджетных доходов от образовательной деятельности за один год в расчете на одну штатную единицу ППС
ресурсов	Объем доходов от НИР и ОКР за один год в расчете на одну штатную единицу НПР
Эффективная	Доля иностранных НПР
кадровая политика	Доля НПР из ТОП-50 образовательных организаций Российской Федерации
	Доля HПР, сдавших IELTS на 6+, TOEFL iBT на 79+, или Cambridge exams не ниже FCE
Репутация	Академическая репутация образовательной организации по QS BRICS
образовательной организации	Количество экспертов, предоставленных для рейтинговой оценки образовательных организаций
	Показатели проекта «5–100»
Проведение научных исследований	Средняя цитируемость на одного НПР, рассчитанная по общему числу публикаций, представленных в Web of Science
мирового уровня	Средняя цитируемость на одного НПР, рассчитанная по общему числу публикаций, представленных в Scopus
	Число статей в системе цитирования Web of Science на одного НПР
	Число статей в системе цитирования Scopus на одного HПР
	Доля иностранцев, имеющих ученую степень, работающих в качестве преподавателей и исследователей, с учетом граждан Российской Федерации, имеющих степени PhD иностранных университетов
	Объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в расчете на НПР
Международное признание	Положение в общем рейтинге университетов мира (Academic Ranking of World Universities)
	Положение в рейтинге мировых университетов Таймс (The Times Higher Education World University Rankings)
	Положение университета во всемирном рейтинге университетов QS (QS World University Rankings)
	Доля иностранцев – студентов основных образовательных программ (в том числе граждан СНГ)
Образовательная	Доля внебюджетных доходов в общей величине доходов вуза
среда	Средний балл единого государственного экзамена (далее – ЕГЭ) студентов, поступивших на первый курс на очную форму обучения в рамках контрольных цифр приема (бакалавриат, специалитет)
	Доля студентов магистратуры и аспирантов, завершивших бакалавриат, специалитет или магистратуру в других организациях, в общей численности обучающихся по программам магистратуры и подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

	Окончание табл. 1					
Наименование агрегированного показателя конку-	Наименование частных показателей конкурентоспособности					
рентоспособности						
	Показатели деятельности образовательной организации					
Образовательная деятельность	Общая численность студентов по очной форме обучения (бакалавриат, специали- тет, магистратура)					
	Общая численность студентов по заочной форме обучения (бакалавриат, специалитет, магистратура)					
	Общая численность аспирантов					
	Средний балл ЕГЭ поступивших на первый курс					
	Численность победителей конкурсов и олимпиад, поступивших на первый курс согласно профилю					
	Доля студентов, обучающихся в магистратуре, в общем числе студентов					
Научно-	Число цитирований в системе цитирования Web of Science в расчете на 100 HПР					
исследовательская	Число цитирований в системе цитирования Scopus в расчете на 100 НПР					
деятельность	Число цитирований в Российском индексе научного цитирования в расчете на 100 НПР					
	Число публикаций в научных изданиях, представленных в системе цитирования Web of Science, в расчете на 100 НПР					
	Число публикаций в научных изданиях, представленных в системе цитирования Scopus, в расчете на 100 НПР					
	Число статей в научных изданиях, представленных в системе цитирования РИНЦ в расчете на НПР					
	Общий объем научных исследований в стоимостном выражении (НИОКР)					
	Объем научных исследований в расчете на одного НПР					
	Доля доходов от исследовательской деятельности в общих доходах образовательной организации					
	Доля НПР, имеющих ученую степень кандидата наук					
	Доля НПР, имеющих ученую степень доктора наук					
	Число научных периодических изданий, издаваемых в образовательной организации (в том числе электронных)					
	Число грантов на 100 НПР в отчетном периоде					
Международная деятельность	Доля иностранцев, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования					
	Доля иностранцев, обучающихся в аспирантуре					
	Доля студентов образовательной организации, прошедших обучение за рубежом (не менее семестра)					
	Число студентов иностранных образовательных организаций, обучавшихся в образовательной организации в течение как минимум одного семестра					
	Доля иностранцев в численности НПР					
	Объем зарубежного финансирования НИР и ОКР (в рублевом эквиваленте)					
	Объем средств, полученных от деятельности, связанной с обучением иностранных граждан					
Финансово-	Общая величина доходов образовательной организации					
Экономическая	Общая величина доходов образовательной организации в расчете на одного НПР					
деятельность	Величина доходов образовательной организации от приносящей доход деятельности, приходящаяся на одного НПР					
Уровень инфраструктуры	Площадь помещений, используемых в учебном процессе, в расчете на одного студента					
	Доля оборудования не старше пяти лет в общей стоимости оборудования образовательной организации					
	Обеспеченность студентов общежитиями					

Максимальное значение определяется для каждого *i*-го показателя, таким образом, методика предполагает сопоставление не с конкретной образовательной организацией, а с лучшим значением конкретного параметра в совокупности организаций, подвергаемых оценке. Таким образом, полученное отношение характеризует степень соответствия конкретной образовательной организации лучшему значению параметра среди объектов оценки конкурентоспособности.

5. Расчет агрегированных показателей конкурентоспособности образовательных организаций осуществляется посредством формулы

$$K_{ij} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} I_{ij},$$
 (2)

где K_{ij} — значение агрегированного показателя конкурентоспособности для j-й образовательной организации;

 I_{ij} — отношение значения i-го частного показателя конкурентоспособности к максимальному значению i-го показателя среди подвергаемых оценке образовательных организаций для j-й образовательной организации.

6. Ранжирование по степени значимости агрегированных показателей.

Ранжирование показателей осуществляется с целью определения веса (значимости) каждого показателя для оценки конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования.

Методика предполагает наличие группы экспертов, которые высказываются относительно важности для оценки конкурентоспособности m агрегированных показателей. Самому важному показателю присваивается ранг m, следующему — (m-1) и так далее, ранг равный 1 имеет наименее важный показатель. Результаты опросов экспертов сводятся в таблицу, в последней строке которой отражают сумму рангов, выставленных экспертами конкретному показателю (табл. 2, формула 3).

$$R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} \,, \tag{3}$$

где R_j — сумма значений рангов j-го показателя. Значение весового коэффициента конкретного агрегированного показателя определяется по формуле

$$Z_{j} = \frac{R_{j}}{\sum_{j=1}^{m} R_{j}}.$$
 (4)

7. Определение взвешенного значения конкретного агрегированного показателя осуществляется по формуле

$$KC_i = \sum_{i=1}^n Z_j \times K_{ij}.$$
 (5)

8. Расчет конкурентоспособности в рамках конкретной группы показателей образовательных организаций высшего образования осуществляется посредством усреднения значений, полученных по выражению (5) по формуле

$$KC_a = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n KC_i. \tag{6}$$

9. Расчет обобщенного показателя конкурентоспособности осуществляется по формуле

$$KC_s = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} KC_a. \tag{7}$$

Следующим этапом анализа является построение профиля конкурентоспособности.

Значения показателей конкурентоспособности, рассчитанные в рамках конкретной группы, служат основой для построения профиля конкурентоспособности. По своей сути указаные показатели отражают:

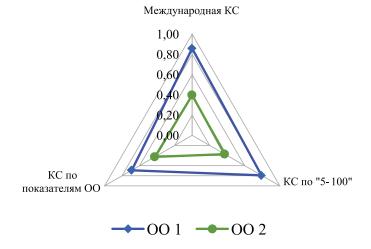
- уровень международной конкурентоспособности;
- уровень конкурентоспособности, оцененный по показателям «Проекта 5–100»;
- уровень конкурентоспособности, оцененный по показателям деятельности образовательных организаций, подлежащих самооценке.

Значения каждого показателя могут колебаться от 0 до 1 и, соответственно, позволяют отразить графически достигнутый образовательной организацией уровень показателя.

Таблица 2 Определение рангов методом ранжирования

Эксперт		Показатели							
	<i>x</i> ₁₁	x_2	x_3	X_4		\mathcal{X}_{m}			
1	r_{11}	r_{12}	r ₁₃	r ₁₄		$r_{_{1m}}$			
2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}		r_{2m}			
3	r_{31}	r_{32}	r_{33}	r ₃₄		r_{3m}			
4	r_{41}	r_{42}	r_{43}	r ₄₄		$r_{_{4m}}$			
• • •									
n	r_{n1}	r_{n2}	r_{n3}	r_{n4}		r _{nm}			
	$R_{_1}$	R_2	R_3	$R_{_4}$		$R_{_m}$			

Общий вид профиля конкурентоспособности образовательной организации представлен на рисунке.



Общий вид профиля конкурентоспособности образовательных организаций

Представленная методика апробирована авторами на материалах десяти федеральных университетов. По значению обобщающего показателя конкурентоспособности первое место в рейтинге занял Уральский федеральный университет (0,780), второе -Казанский (Приволжский) федеральный университет (0,775), третье – Дальневосточный федеральный университет (0,592). Второе место К(П)ФУ обусловлено более низкими значениями конкурентоспособности по группам показателей «Проекта 5–100» и показателей деятельности образовательных организаций, а существенный отрыв от лидеров ДВФУ определяется сравнительно низким значением показателя конкурентоспособности по «проекту 5–100».

Таким образом, авторами предложена целостная методика анализа механизма формирования конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования, отличительной чертой которой является сравнительная простота применения и высокая адаптивность к изменчивости как внешних, так и внутренних параметров среды.

Список литературы

- 1. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент / Р.А. Фатхутдинов. М.: Дело, 2008. 448 с.
- 2. Подборнова Е.С. Организационно-экономические направления развития конкурентоспособности промышленных предприятий: на примере автомобилестроения: дис. ... канд.экон. наук. Самара, 2012. 171 с.
- 3. Чайникова Л.Н. Конкурентоспособность предприятия: учебное пособие / Л.Н. Чайникова, В.Н. Чайников. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. 192 с.
- 4. Пунгин И.В. Систематизация показателей оценки конкурентоспособности и эффективности на основании целевого подхода / И.В. Пунгин, В.С. Пунгина // Современная конкуренция. 2010. N 1. С. 46–55.
- 5. Ченченко Д.А., Суслова Ю.Ю. Системный подход к формированию региональной рыночной инфраструктуры // Российское предпринимательство. 2012. № 17. С. 114–119.

- 6. Захарченко В.И. Оценка и анализ конкурентоспособности предприятия / В.И. Захарченко // Машиностроитель. 1999. № 1. С. 26–32.
- 7. Воронов А.А. К оценке уровня конкурентоспособности машиностроительных предприятий / А.А. Воронов // Машиностроитель. 2000. № 12. С. 27–29.
- 8. Сливной О.В. Методические подходы к оценке конкурентоспособности продукции (на примере машиностроительных предприятий Кемеровской области): дис. ... канд. экон. наук. Кемерово, 2007. 158 с.
- 9. Резник С.Д. Система и механизмы управления конкурентоспособностью высшего учебного заведения. Пенза: ПГУАС, 2009. 147 с.
- 10. Суслова Ю.Ю. Рыночная инфраструктура: теория, методология, проблемы развития (воспроизводственный аспект): дис. ... докт. экон. наук. Красноярск, 2009. 205 с.
- 11. Суслова Ю.Ю. Качество жизни населения, как комплексный показатель оценки рыночной инфраструктуры города/ Ю.Ю. Суслова // Проблемы современной экономики. 2008. № 4. С. 415–419.
- 12. Суслова Ю.Ю. Прибыль предприятия: учебное пособие / Ю.Ю. Суслова, Н.В. Терещенко. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014.-120 с.
- 13. Суслова Ю.Ю. Доходы и прибыль предприятия торговли: учебное пособие / Ю.Ю. Суслова, Н.В. Терещенко. Красноярск: Красноярский государственный торгово-экономический институт, 2004. 270 с.
- 14. Суслова Ю.Ю. Современные подходы к классификации и оценке услуг, влияющих на параметры качества жизни / Ю.Ю. Суслова, Л.И. Подачина // Проблемы современной экономики. -2012. № 4. C. 347–351.
- 15. Волошин А.В. Экономический механизм как инструмент повышения эффективности деятельности предприятий// Управление в условиях глобальных мировых трансформаций: экономика, политика, право: материалы конференции. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2016. С. 173—177.

 16. Волошин А.В. Эволюция теорий конкуренции
- 16. Волошин А.В. Эволюция теорий конкуренции и конкурентоспособности в экономической науке / А.В. Волошин, Ю.Л. Александров // Фундаментальные исследования. 2017. № 4–2. С. 330–338.
- 17. Волошин А.В. Концептуальный подход к механизму формирования конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования / А.В. Волошин, Ю.Л. Александров // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–1. С. 153–158.
- 18. Волошин А.В. Особенности формирования конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования / А.В. Волошин // Проблемы развития социальной сферы в России и за рубежом: сб. науч. трудов. 2017. С. 250–266.
- 19. Волошин А.В., Обзор методических подходов к оценке конкурентоспособности организаций / А.В. Волошин, Ю.Л. Александров // Финансы, учет и менеджмент: теоретические и практические разработки: сб. науч. трудов. 2017. С. 401—419.

УДК 330.4:338.4:636.02

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА И РАЗМЕЩЕНИЯ МЯСНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В СИСТЕМЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Горнин Л.В.

Министерство финансов Российской Федерации, Москва, e-mail: Irina.Petukhova@minfin.ru

Сибирский федеральный округ показан как регион, обладающий всеми необходимыми ресурсами для развития мясного животноводства. Доказано, что его развитие определяет уровень занятости и доходов значительной части населения входящих в округ регионов. Поставлена задача создания на территории округа глубокой переработки сырья, поступающего от мясного животноводства. Разработана экономико-математическая модель блочно-диагонального вида, включающая 38 переменных и 64 ограничения, позволяющая на основе корреляционно-регрессионного анализа определить оптимальный объем мяса, который способен производить округ, рассчитать упущенную выгоду от недопроизводства, выявить регионы, имеющие максимальный потенциал для развития мясного скотоводства, рассчитать по каждому региону максимальную выручку и прибыль от реализации мяса КРС, выявить регионы для размещения мощностей по переработке мяса и непищевого сырья, поступающего от мясного животноводства. Выявлены наиболее устойчивые корреляционные связи между используемыми факторами производства и сбыта мяса крупного рогатого скота.

Ключевые слова: мясное животноводство, мясное скотоводство, непродовольственное сырьё, планирование, оптимизационная модель, размещение производства, размещение переработки

ECONOMY-MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF OPTIMUM VOLUME OF PRODUCTION AND ALLOCATION OF MEATS THE ANIMAL HUSBANDRY OF FEDERAL DISTRICT IN STRATEGIC PLANNING OF DEVELOPMENT

Gornin L.V.

The Ministry of Finance of the Russian Federation, Moscow, e-mail: Irina.Petukhova@minfin.ru

The Siberian Federal District is shown as a region, has all the necessary resources for the development of cattle breeding. It is proved that its development determines the level of employment and income for a large part of the population within the district. The task of creating within the county of deep processing of raw materials coming from cattle breeding. The economic-mathematical model of the block-diagonal form, which includes 38 variables and 64 constraints, allowing on the basis of correlation-regression analysis to determine the optimal amount of meat, which is capable of producing area, calculate the loss of profits from the underproduction, to identify regions that have the maximum potential for the development of beef cattle calculate for each region, the maximum revenue and profit from the sale of beef, identify areas to accommodate facilities for meat processing and non-food raw materials, coming from cattle breeding. Revealed the most stable correlations between used factors of production and marketing of meat of bovine animals.

Keywords: beef cattle, beef cattle, non-food raw materials, planning, optimization model, the location of production, placement processing

Сегодня животноводство интересует профильное министерство и региональные органы управления в первую очередь как поставщик продовольствия и сырья для его производства, так как доля отечественной мясопродукции на потребительском рынке страны увеличилась на 8,2% и все ещё на 30% зависит от импорта, а объем ресурсов отрасли снизился на 2,4%, потребление мяса и мясопродукции населением – на 2,1% [1-3]. Однако мясное животноводство – это еще и непищевое сырье - шерсть, шкуры, внутренние органы, кости. Переработка этого сырья не только повышает эффективность ведения животноводства, но и решает важнейшие для страны задачи: насыщение потребительского рынка отечественной продукцией лёгкой промышленности – шерстяными тканями, кожей, обувью, одеждой, пополнение и обновление запасов материальных ценностей государственного и мобилизационного

резервов и повышение занятости и доходов населения сельских территорий. Сегодня каждый регион сам определяет - как эффективнее использовать средства федерального бюджета, выделяемые в рамках государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. [4]. Это вполне обоснованно, но кроме положительных сторон, имеет и отрицательную - средства часто рассредоточиваются на решение сиюминутных задач, не решая накопившихся в отрасли глубинных проблем. В связи с этим возникает необходимость комплексно и централизованно, на межрегиональном уровне, решать вопросы восстановления промышленной переработки сырья, поступающего от мясного животноводства. Для этого требуется разработка соответствующей субфедеральной программы, участниками которой должны стать все регионы округа и как минимум шесть отраслей промышленности. Но основой этой громоздкой системы будет сырьевая база. Поэтому целью исследования является обоснование оптимальных объемов производства и размещения мясного животноводства. В качестве объекта наблюдения взят Сибирский федеральный округ (СФО).

Результаты исследования и их обсуждение

Сибирский федеральный округ является в значительной степени аграрной территорией, так как занимает среди округов Российской Федерации четвёртое место по доле продукции сельского хозяйства, второе место — по численности поголовья крупного рогатого скота (КРС), поставляющего на рынок говядину, третье место — по поголовью овец и коз, производству мяса скота и птицы на убой и шерсти [5, с. 709–714, 731–732; 6]. И от развития животноводства здесь во многом зависят и занятость и доходы населения (табл. 1).

расширению рынков сбыта и созданию новых и разнообразных малых модулей по первичной обработке и крупных предприятий по глубокой переработке поступающего от него сырья, логистику товарообмена между ними и сбыта готовой продукции. Наиболее эффективно решать эти вопросы возможно путем формирования в округе нескольких крупных предприятий, перерабатывающих непродовольственное сырье разных отраслей промышленности, сосредоточенных в определенном периметре поставщиков сырья и мясоперерабатывающих предприятий.

Классической экономико-математической теорией доказано, что оптимизация использования ресурсного потенциала любой отрасли сводится к оптимизации структуры обслуживающих основное производство экономических систем. Решение задачи размещения крупных производств связано с оптимизацией размещения пунктов первичной переработки сельскохозяйственной продукции и непосредственно самого

Таблица 1 Статистическая основа для корреляционного анализа влияния объемов производства продукции животноводства на отдельные показатели развития регионов Сибирского федерального округа (по данным за 2015 г.)*

	Средне-	Сальдирован-	Средне-	Инвести-	Продукция	ВТ	. Ч.
	годовая	ный финансо-	душевые	ции в ос-	сельского	pac-	живот-
	численность	вый результат	денежные	новной	хозяйства –	тение-	новод-
	занятых	деятельности	доходы	капитал),	всего,	водства	ства
	в экономике,	организаций,	(в месяц),	млн руб.	млн руб.		
	тыс. чел.	млн руб.	руб.				
Сибирский феде-	9010,1	21048	21490,4	108731	543890	237668	306222
ральный округ							
Алтайский край	1063,8	-2926	18433,5	36312	113938	53880	60058
Новосибирская	1365,6	-12523	23110,2	65181	71408	28401	43007
область			·				
Красноярский край	1422,7	-3192	24806,2	105786	79205	36364	42841
Омская область	944,5	-7054	24060,2	16182	83590	42318	41272
Иркутская область	1130,7	22604	20223,9	180035	56417	25222	31195
Кемеровская область	1278,2	14252	20193,2	36065	49652	24133	25519
Томская область	491,6	154496	21548,7	344539	26092	9890	16202
Забайкальский край	482	-88772	20520	239731	18673	4741	13932
Республика Бурятия	414,4	198439	22325,8	192458	16731	5845	10886
Республика Хакасия	226,6	315317	18384,7	1440980	12777	3770	9007
Республика Алтай	89,2	2026	17133,6	13790	9582	1978	7604
Республика Тыва	101	16919	14082,9	102169	5827	1126	4701

Примечание. * Составлено по [1, 2, 5].

Сибирский федеральный округ в состоянии обеспечить себя мясом и мясопродуктами собственного производства, а также поставлять данную продукцию на внешние рынки. Однако для развития промышленной переработки продукции животноводства необходимо уделить внимание двум основным направлениям: работе по животноводства как ресурсной основы в Сибирском федеральном округе. Для этого предлагается экономико-математическая модель оптимизации производства мяса, размещения крупных перерабатывающих предприятий по обработке шкур КРС и производству кожевенных изделий в СФО, и условий их эффективного функциониро-

вания, производственных ресурсов и планируемых уровней производства валовой и товарной продукции и получаемой от её реализации прибыли, основанная на заданных ограничениях и критерии оптимальности. Модель имеет блочно-диагональный вид и включает 38 переменных и 64 ограничения. К основным переменным отнесены: производство различных видов мяса, стоимость товарной продукции и сумма производственных затрат по каждому виду мясасырья в каждом из регионов СФО (табл. 2).

К основным ограничениям автором отнесены ограничения по производству и реализации различных видов мяса и сто-имостным показателям в каждом из регионов (табл. 3).

При решении задачи использованы статистические данные, учитывающие поголовье всех видов скота и объемы производства всех видов мяса во всех секторах экономики (сельскохозяйственные организации, крестьянские фермерские хозяйства и домашние подворья – ЛПХ), а показатели эффективности (рентабельность производства) и влияющих на нее факторов (затраты, инвестиции и т.п.) – по сельскохозяйственным организациям.

В результате решения задачи максимум прибыли от реализации мяса в регионах СФО составил 102291 млн руб., выручка от реализации мяса всех видов в убойном весе — 274892 млн руб., затраты на производство и реализацию продукции — 172601 млн руб. (табл. 4). Чем выше уровень отклонения, тем больше потенциал региона в производстве мяса.

Анализ результатов решения задачи показывает, что округ недополучает минимум 109,1 тыс. тонн мяса ежегодно, то есть при оптимальном размещении производства и создании для него условий по переработке и сбыту произведенной продукции его рост может составить 9,4%, а наибольший потенциал для роста производства мяса имеют Алтайский край (на 33,7 тыс. т), Красноярский край (на 20,7 тыс. т) и Новосибирская область (на 10,1 тыс. т). В сравнении с фактическими данными по СФО при увеличении затрат на производство реализованного мяса на 10,7% (на 23471,3 млн руб.) выручка от его реализации может увеличиться на 11,4% (на 32006,6 млн руб.), а прибыль сельхозтоваропроизводителей – на 10,7% (на 8535,3 млн руб.). Уровень рентабельности в среднем по округу составит 39,4%.

 Таблица 2

 Основные переменные величины, использованные в оптимизационной модели

символ	регион	символ	регион
прои	зводство мяса говядины, тыс. тонн	X ₂₀	в Иркутской области
X ₁	в Республике Алтай	X ₂₁	в Кемеровской области
X_2	в Республике Бурятия	X ₂₂	в Новосибирской области
X_3	в Республике Тыва	X ₂₃	в Омской области
X ₄	в Республике Хакасия	X ₂₄	в Томской области
X_5	в Алтайском крае	прои	зводство других видов мяса, тыс. тонн
X_6	в Забайкальском крае	X ₂₅	в Республике Алтай
X ₇	в Красноярском крае	X ₂₆	в Республике Бурятия
X ₈	в Иркутской области	X ₂₇	в Республике Тыва
X_9	в Кемеровской области	X ₂₈	в Республике Хакасия
X ₁₀	в Новосибирской области	X ₂₉	в Алтайском крае
X ₁₁	в Омской области	X ₃₀	в Забайкальском крае
X ₁₂	в Томской области	X ₃₁	в Красноярском крае
прои	зводство мяса свинины, тыс. тонн	X ₃₂	в Иркутской области
X ₁₃	в Республике Алтай	X ₃₃	в Кемеровской области
X ₁₄	в Республике Бурятия	X ₃₄	в Новосибирской области
X ₁₅	в Республике Тыва	X ₃₅	в Омской области
X ₁₆	в Республике Хакасия	X ₃₆	в Томской области
X ₁₇	в Алтайском крае	X ₃₇	стоимость товарной продукции, млн. руб.
X ₁₈	в Забайкальском крае	X ₃₈	сумма производственных затрат, млн. руб.
X ₁₉	в Красноярском крае		

Таблица 3 Основные ограничения, использованные в оптимизационной задаче

В регионе	Основные ограничения, тыс. тонн							
	по производству совокупности указанных видов мяса	по реализации сово- купности указанных видов мяса	по производ- ству говядины (КРС в убой- ном весе)	по произ- водству свинины	по производству других видов мяса (овец и коз в убойном весе)			
Республике Алтай	$x_1 + x_{13} + x_{25} \ge 29,7$	$x_1 + x_{13} + x_{25} \ge 26,6$	$x_1 \ge 20.8$	$x_{13} \ge 6.5$	$x_{25} \ge 2,4$			
Республике Бурятия	$x_2 + x_{14} + x_{26} \ge 45,3$	$x_2 + x_{14} + x_{26} \ge 40,1$	$x_2 \ge 23,6$	$x_{14} \ge 19$	$x_{26} \ge 1.8$			
Республике Тыва	$x_3 + x_{15} + x_{27} \ge 12,2$	$x_3 + x_{15} + x_{27} \ge 11,7$	$x_3 \ge 1,5$	$x_{15} \ge 1,2$	$x_{27} \ge 9.5$			
Республике Хакасия	$x_4 + x_{16} + x_{28} \ge 30.8$	$x_4 + x_{16} + x_{28} \ge 24,7$	$x_4 \ge 22,2$	$x_{16} \ge 3.7$	$x_{28} \ge 4.9$			
Алтайском крае	$x_5 + x_{17} + x_{29} \ge 241,9$	$x_5 + x_{17} + x_{29} \ge 228,1$	$x_5 \ge 67.8$	$x_{17} \ge 94,3$	$x_{29} \ge 79,8$			
Забайкаль- ском крае	$x_6 + x_{18} + x_{30} \ge 49,5$	$x_6 + x_{18} + x_{30} \ge 43,2$	$x_6 \ge 15.8$	$x_{18} \ge 22.8$	$x_{30} \ge 10.9$			
Краснояр- ском крае	$x_7 + x_{19} + x_{31} \ge 128,7$	$x_7 + x_{19} + x_{31} \ge 112,3$	$x_7 \ge 38,6$	$x_{19} \ge 74,6$	$x_{31} \ge 15,4$			
Иркутской области	$x_8 + x_{20} + x_{32} \ge 99,6$	$x_8 + x_{20} + x_{32} \ge 96,4$	$x_8 \ge 35,9$	$x_{20} \ge 47.8$	$x_{32} \ge 15,9$			
Кемеровской области	$x_9 + x_{21} + x_{33} \ge 99,6$	$x_9 + x_{21} + x_{33} \ge 85,6$	$x_9 \ge 5.3$	$x_{21} \ge 38,9$	$x_{33} \ge 44,2$			
Новосибир- ской области	$x_{10} + x_{22} + x_{34} \ge 165,7$	$x_{10} + x_{22} + x_{34} \ge 161,4$	$x_{10} \ge 29.8$	$x_{22} \ge 67,9$	$x_{34} \ge 67,9$			
Омской области	$x_{11} + x_{23} + x_{35} \ge 182,3$	$x_{11} + x_{23} + x_{35} \ge 178,6$	$x_{11} \ge 27,3$	$x_{23} \ge 82$	$x_{35} \ge 72,9$			
Томской области	$x_{12} + x_{24} + x_{36} \ge 87,5$	$x_{12} + x_{24} + x_{36} \ge 82,7$	$x_{12} \ge 7,9$	$x_{24} \ge 51,6$	$x_{36} \ge 28$			
	Огран	ничения по стоимостн	ым показателям					
по стоимости товарной продукции, млн руб.	$\begin{vmatrix} +170x_{21} + 220x_{22} + 14 \\ +220x_{31} + 220x_{32} + 27 \end{vmatrix}$	$_{3}^{+} + 200x_{4}^{-} + 280x_{5}^{-} + 220$ $_{4}^{0}x_{23}^{-} + 240x_{24}^{-} + 200x_{25}^{-}$ $_{33}^{+} + 230x_{34}^{-} + 255x_{35}^{-} + 230x_{34}^{-} + 255x_{35}^{-} + 230x_{35}^{-} + 230x_{35}^{-$	$+250x_{26} + 220x_{36} = x_{37}$	$x_{27} + 200x_{28} - $	+ 215x ₂₉ + 210x ₃₀ +			
по сумме про- изводствен- ных затрат, млн руб.	$\begin{array}{l} +170x_{21} + 220x_{22} + 14 \\ +220x_{31} + 220x_{32} + 27 \end{array}$	$x_3 + 200x_4 + 280x_5 + 220$ $40x_{23} + 240x_{24} + 200x_{25}$ $0x_{33} + 230x_{34} + 255x_{35} + 200x_{35}$	$+250x_{26} + 220x_{26} - 240x_{36} = x_{37}$	$x_{27} + 200x_{28}$	+ 215x ₂₉ + 210x ₃₀ +			
по минимуму производства мяса, тыс. тонн	по минимуму производства мяса, тыс.							
по максиму- му произ- водства мяса, тыс. тонн	$\begin{vmatrix} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + \\ + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + \end{vmatrix}$	$x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} \le 18$	$-\mathbf{x}_{20} + \mathbf{x}_{21} + \mathbf{x}_{22} + \mathbf{x}_{363,6}$	$x_{23} + x_{24} + x_{34}$	$_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} +$			

Для ответа на вопрос о целесообразности развития производства в том или ином регионе, во-первых, необходимо проанализировать изменения суммы затрат на это производство при оптимальном варианте по сравнению с фактическим. Во-вторых, сравнить соотношение натуральных показателей при оптимальном варианте с фактическим производством. В-третьих, сравнить полученную динамику и по производству, и по затратам (табл. 5).

Сравнительный анализ показывает, что максимальный потенциал, заложенный в указанных регионах, может быть достигнут с наименьшими затратами только в Алтайском крае, где рост себестоимости превысит рост объемов производства только на 1,0%. В Иркутской области для увеличения объемов производства на 9,0% затраты должны вырасти на 14,1%, в Красноярском крае для достижения роста объемов производства на 16,1% затраты должны вырасти

на 22,1%, в Республике Хакасия для повышения производства на 10,1% затраты должны увеличиться на 17,4%, в Республике Алтай для получения тех же 9,1% затраты нужно увеличить на 22,1%.

В то же время есть ряд регионов, где темпы роста объемов производства могут быть несколько ниже, но достигаться при гораздо меньших затратах: Республика Бурятия может повысить объемы производства на 8,7%, практически не вкладывая дополнительных средств в производство мяса но, снижая затраты на 2,1%, в Забайкальском крае для роста объемов производства на 6,0% затраты нужно увеличить на 3,7%, в Омской области производство можно увеличить на 4,5%, а в Томской – на 6,5%, увеличив объем затрат на 0,4 и 0,7% соответственно. Перед руководством этих регионов должна ставиться задача поиска резервов для снижения затрат на производство всех видов мяса без потери показателей его качества.

Таблица 4 Оптимальные объемы производства мяса в СФО*

Регионы	Объемы производства мяса по	Объемы производства	Отклонения
	оптимальному решению, тыс. т	мяса (факт), тыс. т	(+;-)
Республика Алтай	32,4	29,7	-2,7
Республика Бурятия	49,2	45,3	-3,9
Республика Тыва	13,1	12,2	-0,9
Республика Хакасия	33,9	30,8	-3,1
Алтайский край	275,6	241,9	-33,7
Забайкальский край	52,8	49,5	-3,3
Красноярский край	149,4	128,7	-20,7
Иркутская область	108,6	99,6	- 9
Кемеровская область	96,7	88,9	-7,8
Новосибирская область	175,8	165,7	-10,1
Омская область	190,5	182,3	-8,2
Томская область	93,2	87,5	-5,7
Итого	1271,2	1162,1	-109,1

Примечание ской задачи на основе данных, использованных в табл. 1.

Таблица 5 Сравнение относительных фактических и расчетных оптимальных показателей производства мяса и его себестоимости

Регионы	Объемы производ- ства мяса, тыс. т		Соотношение оптимально-	Затрат	ы, млн руб.	Соотношение оптимально-	
	факт	по опти- мальному решению	го решения и факта	факт	по опти- мальному решению	го решения и факта	
Республика Алтай	29,7	32,4	109,1	2915,4	3560,8	122,1	
Республика Бурятия	45,3	49,2	108,6	7515	7360,3	97,9	
Республика Тыва	12,2	13,1	107,4	1240,2	1579,9	127,4	
Республика Хакасия	30,8	33,9	110,1	3538,6	4152,8	117,4	
Алтайский край	241,9	275,6	113,9	49181,6	56064,3	114,0	
Забайкальский край	49,5	52,8	106,7	6516,6	6758,4	103,7	
Красноярский край	128,7	149,4	116,1	15167,9	18525,6	122,1	
Иркутская область	99,6	108,6	109,0	16735,6	19095,4	114,1	
Кемеровская область	88,9	96,7	108,8	17564,5	19804,8	112,8	
Новосибирская обл.	165,7	175,8	106,1	28792,1	35491	123,3	
Омская область	182,3	190,5	104,5	30248,2	30355,3	100,4	
Томская область	87,5	93,2	106,5	21214,4	21352,8	100,7	
Итого	1162,1	1271,2	109,4	200630,1	224101,4	111,7	

 Π р и м е ч а н и е . * Рассчитано автором в результате решения математической задачи на основе данных, использованных в табл. 1.

Вышеприведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что в среднесрочной перспективе развивать производство товарного мяса, его заготовку и переработку целесообразно в Алтайском крае, Иркутской области, Республике Бурятия, Забайкальском крае, Омской и Томской областях.

Оптимизация финансовых показателей от реализации мяса свидетельствует о том, что при повышении затрат до 224,1 млрд руб. можно обеспечить рост выручки до 312,3 млрд руб., прибыли – до 88,2 млрд руб., рентабельности производства мяса в среднем по $C\Phi O$ – до 39,4%. Наибольшая прибыль среди регионов СФО может быть обеспечена в Алтайском крае – 15,5 млрд руб., Омской области – 13,6 млрд руб. и Новосибирской области – 10,2 млрд руб. В сравнении с фактическими данными по СФО при росте затрат на производство мяса на 10,7% (на 23,5 млрд руб.) выручка от реализации мяса увеличится на 11,4% (на 32,0 млрд руб.), прибыль — на 10,7% (на 8,5 млрд руб.). Уровень рентабельности в среднем по СФО составит 39,4%.

Рентабельность отражает эффективность использования ресурсов в процессе производства. Соотношение динамики роста прибыли и рентабельности (табл. 6) показало, что в Алтайском крае уже сложилась достаточно оптимальная структура производства (сочетание производства сельско-

хозяйственного сырья и его переработки), прибыль от ведения животноводства уже максимальна и при оптимизации её рост будет не самым высоким по округу, равно как и показатель рентабельности. То есть в этом регионе потенциал развития следует искать, прежде всего в углублении переработки непищевого сырья, поступающего от забоя всех видов животных, либо от наращивания объемов его реализации за пределы региона, что также требует затрат на создание условий для его первичной обработки.

Высокий потенциал для роста прибыли в самом животноводстве при оптимальном варианте использования ресурсов заложен в Забайкальском крае, Омской и Томской областях.

Оптимальность созданных для эффективного ведения животноводства условий в Алтайском крае подтверждается и высокими показателями прибыли, и незначительной динамикой сравниваемых показателей. Это позволяет рассматривать Алтайский и Красноярский края, Омскую и Томскую области как наиболее перспективные территории для размещения малых модулей по первичной обработке непищевого сырья и крупных предприятий по углубленной обработке шкур KPC, производящих высокотехнологичную продукцию, в том числе экспортно-ориентированную, в которые на переработку могут отправлять часть своей продукции соседние регионы СФО.

 Таблица 6

 Сравнение относительных фактических и расчетных оптимальных показателей прибыли от производства и реализации мяса и его рентабельности

Регионы	Прибыл	ь, млн руб.	Соотноше-	Рентаб	ельность,%	Соотношение
	факт	по опти- мальному решению	ние опти- мального решения и факта	факт	по опти- мальному решению	оптимального решения и факта
Республика Алтай	1713	1787,1	104,3	28,8	30,2	+ 1,4
Республика Бурятия	4358,7	5535,6	127,0	58	58,2	+ 0,2
Республика Тыва	1017,9	1144,8	112,5	72,1	73,4	+ 1,3
Республика Хакасия	1253,2	1321,3	105,4	35,4	36,1	+ 0,7
Алтайский край	13624,2	15491,3	113,7	27,7	28,6	+ 0,9
Забайкальский край	2253	2595,8	115,2	34,6	38,4	+ 3,8
Красноярский край	6964,2	7166,2	102,9	45,9	48,7	+ 2,8
Иркутская область	9872,8	9917,4	100,5	59	61,9	+ 2,9
Кемеровская область	10602,7	10833,2	102,2	60,4	64,7	+4,3
Новосибирская область	10221,7	11205,5	109,6	35,5	36,6	+1,1
Омская область	11791,6	13575,5	115,1	39	44,7	+ 5,7
Томская область	6001,6	7636,2	127,2	28,3	35,8	+ 7,5
Итого	79674,6	88209,9	110,7	38,7	39,4	+ 0,7

 Π р и м е ч а н и е . * Рассчитано автором в результате решения математической задачи на основе данных, использованных в табл. 1.

 Таблица 7

 Рейтинг факторов, коррелирующих с выручкой от реализации мяса

Факторы, коррелирующие с выручкой от реализации мяса	Коэффициент корреляции
Производство мяса КРС	r = 0,97
Поголовье свиней	r = 0.89
Численность населения региона	r = 0.74
Поголовье КРС	r = 0,66
Плотность населения региона	r = 0.55
Расход кормов на 1 условную голову КРС	r = 0.50
Среднесуточный привес КРС	r = 0.43
Цена реализации 1 т мяса КРС	r = 0,41
Площадь сельскохозяйственных угодий региона	r = 0.35
Производство мяса на душу населения	r = 0.22
Потребность населения региона в мясе	r = 0.07
Поголовье овец и коз	r = -0.54

В исследовании разработана многофакторная модель, в которой в качестве базовых факторов использованы: выручка от реализации мяса (млн руб.) (сумма денежных средств, получаемых продавцом по факту продажи товара до основного налогообложения, кроме НДС), численность населения (тыс. чел.), производство мяса (тыс. т), поголовье КРС, свиней, овец и коз (тыс. гол.), производство и потребность мяса на душу населения (кг), в том числе и как индикатор для определения экспортного потенциала отрасли, расход кормов на 1 условную голову (ц.к.ед.), среднесуточный привес КРС (гр.), цена реализации 1 т мяса (тыс. руб.), и прибыль (сумма, остающаяся после налогообложения) (тыс. руб.).

Корреляционный анализ выявил следующие характерные для моделей зависимости (табл. 7):

- выявлена сильная прямая связь между выручкой от реализации мяса и численностью населения региона (r = 0.74); прибылью и численностью населения (r = 0.73), так как с увеличением численности населения возрастает спрос на мясо, растет объем его продаж и, как следствие, увеличивается выручка от его реализации мяса. Это косвенно подтверждает необходимость увеличения объемов продаж мясопродукции, и в первую очередь за счет поиска рынков сбыта за пределами СФО или привлечения в округ потребителей за счет развития иных отраслей и сфер деятельности: трудовой миграции (работы вахтовым методом), туризма и т.п.;

- сильная прямая связь выявлена и между выручкой от реализации мяса и производством мяса (r=0.97), что вполне закономерно. Это предполагает необходимость наращивания объемов мясопереработки,

причем в первую очередь с производственными мощностями, принимающими незначительные, но стабильно поставляемые партии мяса-сырья, т.е. работающие на сырье территории расположения. А это, в свою очередь, потребует организации заготовки мяса-сырья, т.е. логистики его сбыта для домашних и фермерских хозяйств;

- уровень корреляции между поголовьем животных и выручкой (а также - прибылью) зависит от вида животных: в случае с KPC – она прямая, но средняя (r = 0.66), в случае со свиньями - прямая сильная (r = 0.89), а в случае с овцами и козами – отрицательная (r = -0.54), что объясняется сроками выращивания животных, каналами и способами потребления и основными целями выращивания животных. В частности, у КРС – наиболее продолжительный период выращивания, выращивание свиней короче по срокам, и свинина и говядина реализуются как в промышленную переработку, так и на потребительский рынок в непереработанном виде; овцы и козы выращиваются прежде всего для шерсти, шкур и молока, а уже во вторую очередь - на мясо, хотя в последние годы баранина становится все популярнее. Это означает, что наращивание поголовья следует связывать с условиями его сбыта для сельхозтоваропроизводителей, формирования промышленных потребителей непищевого сырья потребуют прежде всего овце- и козоводство, затем мясное скотоводство и свиноводство;

– выявлена слабая прямая связь между выручкой от реализации мяса и производством мяса на душу населения (r = 0,22), т.е. с увеличением производства мяса на душу населения выручка от реализации мяса будет увеличиваться, но крайне медленно. И хотя в данной корреляции выпадает фак-

тор переработки, «поглощающей» сырье неравномерно при производстве различных видов мясопродукции, это косвенно подтверждает связь объемов производства мясоперерабатывающих предприятий с платежеспособным спросом населения. И если в регионе платежеспособный спрос низкий, то возникает необходимость решения задач, направленных на его повышение, и(или) поиска новых потребительских сегментов для сбыта мясопродукции, в том числе за пределы региона;

- слабой является прямая связь между выручкой (а также и прибылью) от реализации мяса и потребностью мяса на душу населения (r=0,07), что обусловлено отсутствием в данной зависимости фактора платежеспособного спроса населения и работы оптовой торговли;

- наблюдается средняя прямая связь между выручкой от реализации мяса (а также – прибылью) и ценой реализации 1 т мяса (г = 0,41), а это значит, что цена не окупает затраты на производство мяса в силу того, что, помимо высоких цен на ресурсы, сельхозтоваропроизводителям приходится ещё и выполнять много несвойственных им функций, связанных с логистикой, маркетингом и т.п. И это положение еще раз подтверждает актуальность оказываемой государством поддержки сельскохозяйственного производства.

Рейтинг факторов, коррелирующих с выручкой от реализации мяса (численность поголовья КРС и свиней, объем производства мяса он них, численность населения региона, расход кормов на 1 условную голову КРС и 1 голову свиньи, среднесуточный привес КРС и свиней, цена реализации 1 т мяса КРС и свинины, площадь сельскохозяйственных угодий региона, производство мяса на душу населения, потребность населения региона в мясе и поголовье овец и коз), показал, что её динамика связана, прежде всего, с динамикой таких факторов, как объем производства, численность поголовья животных, численность и плотность населения.

Коэффициенты корреляции выручки и прибыли с прочими факторами несколько отличаются между собой. Отклонения в корреляциях наблюдаются с поголовьем овец и коз, с ценой реализации 1 т мяса КРС, с расходом кормов на 1 усл. голову, со среднесуточным привесом КРС, что, с одной стороны, свидетельствует о невыгодности ведения данного вида животноводства для сельхозтоваропроизводителей при отсутствии рынка сбыта и цены, сопоставимой с затратами, с другой, связано с разницей в сложившихся в регионах СФО системах налогообложения и неналоговых сборов.

Идентифицировать эти условия возможно лишь путем создания единого межрегионального экономического пространства внутри которого будет сформировано несколько специализированных кластеров, а каждый из регионов, входящих в СФО, станет либо центром (ядром) кластера, создав агропромышленный парк, либо оптово-распределительным центром внутрикластерной товарной цепочки, либо - периферией (донором, сырьевой зоной) одного или нескольких кластеров. То есть каждый регион будет одновременно участником каждого из кластеров или их большинства. Внутри этого экономического пространства в рамках конкретных видов деятельности экономические субъекты будут работать по единым условиям, которые должны будут быть закреплены региональным законодательством, что, в свою очередь, потребует взаимодействия регионов в правовом и организационном аспектах, и тем самым создать сельхозтоваропроизводителям равные условия товарообмена.

Оптимизационной задачей рассчитано четыре варианта (модели) корреляции постоянных и переменных факторов. В каждом из вариантов проведено сопоставление одного из факторов с прочими в зависимости от решаемой задачи. Каждый из вариантов предполагает обоснование размера выручки или прибыли, которую сможет получить животноводство округа от реализации мяса при выполнении тех или иных условий.

Регрессионная статистика показала, что по каждому варианту (модели) множественный коэффициент корреляции (множественный R) равен 0,999, а это значит, что все взятые для анализа факторы при построении моделей учтены. Данная совокупность факторов на 99,8% оказывает влияние на результат (коэффициент детерминации -R-квадрат – равен 0,998, а поскольку он больше 0,95, то можно говорить о высокой точности аппроксимации), т.е. модели хорошо описывают явление. Кроме того, данные модели являются значимыми, так как критерий Фишера (значимость F) в каждой из них равен от 0,042 (3 модель) до 0,048 (1 и 2 модель), т.е. он меньше, чем 0,05.

Выводы

При планировании развития мясного животноводства рекомендуется учитывать результаты решения оптимизационной задачи, которое основано на использовании показателей поголовья и объемов производства мяса КРС, свинины, овец и коз, стоимости товарной продукции и суммы производственных затрат и ограничениях

по их минимуму и максимуму в каждом из регионов СФО. В результате решения выявлено, что СФО недополучает минимум 109,1 тыс. т мяса ежегодно, то есть при оптимальном ведении производства и создании условий для потребления произведенной им продукции (переработка мяса и непищевого сырья и их сбыт) его рост может составить 9,4%, а наибольший потенциал для роста производства мяса имеют Алтайский, Красноярский, Забайкальский края, Новосибирская и Омская области. В сравнении с фактическими данными по СФО выручка от реализации мяса может увеличиться на 11,4%, при увеличении затрат на 10,7%, уровень рентабельности их производства может быть доведен до 39,4%. В силу того, что потенциал развития самого животноводства без дополнительных рынков сбыта ограничен, требуются значительные усилия по созданию переработки поступающего от него непищевого сырья. Решать эту задачу усилиями одного региона неэффективно. Требуется оптимизация размещения перерабатывающих производств относительно сырьевых зон, логистики межрегионального товарообмена, т.е. формирования еди-

ного экономического пространства на территории округа, включающего несколько кластеров.

Список литературы

- 1. Данные Росстата: Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/# (дата обращения: 16.10.2017).
- 2. Данные Росстата: Рынок труда, занятость и заработная плата [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/ (дата обращения: 16.10.2017).
- 3. Першукевич П.М. Импортозамещение на рынке мяса КРС Сибирского федерального округа и обеспечивающие его факторы / П.М. Першукевич, Г.М. Гриценко, Л.В. Тю // Достижения науки и техники АПК. −2016. № 4. С. 18–22.
- 4. Гриценко Г.М. Проблемы стратегического управления инновационным развитием регионального АПК (на примере Алтайского края) / Г.М. Гриценко, В.Н. Верещагина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. -2009. № 12. -C. 116–120.
- 5. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации: Статистический сборник. 2015 [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru (дата обращения: 16.10.2017).
- 6. Першукевич П.М. Состояние и перспективы социально-экономического развития агропромышленного производства Сибири / П.М. Першукевич, Г.М. Гриценко, Л.В. Тю // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. $N\!\!\!_{\odot}$ 5. С. 131–137.

УДК 332.1

ПРОЦЕССНО-ТРАНСФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ковальчук Л.Б.

Читинский институт Байкальского государственного университета, Чита, e-mail: kovalchuklb@mail.ru

Проблемы и перспективы развития региональных социально-экономических систем во многом обусловлены процессами, протекающими в экономике и социальной сфере регионов. Связанные друг с другом общими входами и выходами, клиентами и владельцами, региональные процессы формируют в региональной системе «зоны благополучия» и «проблемные зоны», трансформация которых вызывает в региональной системе прогресс или регресс. Учитывая значительное количество региональных процессов, выявление взаимосвязей и взаимозависимостей между процессами, обусловливающих социальноэкономические трансформации, представляется достаточно сложным диагностическим моментом, с которым не справляются существующие диагностические системы. В данном контексте весьма актуально модернизировать данные системы и предложить модель процессно-трансформационной диагностики, которая позволила бы не только установить факт трансформаций социально-экономических процессов региона, выявить их причины, но и предложить сценарии регионального развития с учётом выявленных трансформаций. Особенностью предлагаемой модели процессно-трансформационной диагностики является её системный характер, блочная иерерхическая структура, принципиальная основа, сформированная общенаучными и синергетическими принципами и использование в качестве информационной основы диагностики интегральных показателей, полученных на основе матриц результативности различных процессов в социальной и экономической сферах.

Ключевые слова: трансформации социально-экономических процессов, процессно-трансформационная модель региональной диагностики, результативность процессов, локализация, типологизация процессов

PROCESS-TRANSFORMATIONAL MODEL OF DIAGNOSIS OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEM

Kovalchuk L.B.

Chita Institute of Baikal State University, Chita, e-mail: kovalchuklb@mail.ru

Processes occurring in the economy and social sphere of the region cause problems and prospects of development of regional socio-economic systems. Bound together by common inputs and outputs, clients and owners, regional processes form in the regional system «prosperity zones» and «problem areas», which transformation contribute to progress or regress of the regional system. Due to the significant number of regional processes, it is difficult to identify the relationships and interdependencies between the processes that contribute to the socio-economic transformation and the existing diagnostic systems cannot do with this task. In this context, it seems highly relevant to modernize these systems and propose a model of a process-transformation diagnosis, which would allow not only to prove the fact of the transformation of social and economic processes in the region, identify their causes and propose scenarios of regional development, taking into account the identified transformations. A peculiar feature of the proposed model of the transformational process-diagnostics is its systemic character, hierarchically organized block structure, information basis for the diagnosis made from integrated indicators derived from the impact matrices of various social and economic processes.

Keywords: transformation of the socio-economic processes, process-transformational model of regional diagnostic, effectiveness of processes, localization, processes classification

Разнообразие процессов, направленных на удовлетворение жизненно важных для населения потребностей, вызывает необходимость постоянного мониторинга и оценки характера их протекания и результативности, диагностики и закономерностей их изменения для своевременного выявления негативных тенденций, обусловливающих регрессивные изменения региональной социально-экономической системы. В данном контексте предлагаем систему региональной диагностики, предметом которой выступают изменения результативности социально-экономических процессов, обусловливающих улучшение либо заметное ухудшение качества жизни и условий жизнедеятельности населения, проживающего на территории данного региона [1].

Рассматривая изменения процессов, протекающих в социальной и экономической сферах, в качестве предмета региональной диагностики, необходимо подчеркнуть их системный характер, который позволяет построить комплексную систему диагностики, отвечающую всем требованиям самоорганизующейся, развивающейся, открытой системы: целенаправленности, неаддитивности, эмерджентности, иерархичности, устой-

чивости, динамизма [2, с. 179–182]. Элементами данной системы являются процессы, протекающие в экономической и социальной сферах, которые и нацелены на удовлетворение постоянно растущих потребностей населения региона. Такая нацеленность позволяет ограничить число элементов формируемой нами системы диагностики числом процессов, удовлетворяющих потребности, необходимые для нормальной жизнедеятельности (потребности материальной сферы), и обеспечивающие населению возможности всестороннего развития личности (потребности социальной сферы). Постоянно растущая результативность этих процессов создаёт определённые уровни формирования благ, а их взаимодействие открывает возможности для устойчивого развития региональной социально-экономической системы [3, с. 124-130]. Диагностика социальных и экономических процессов позволяет осуществить оценку уровня удовлетворения как отдельных потребностей, так и общего благосостояния по показателям результативности данных процессов. При этом для сравнения могут использоваться показатели результативности этих процессов, достигнутые в предыдущие

периоды развития данной региональной системы [4]. Учитывая, что формирование благ сопровождается определёнными проблемами, в ходе диагностики необходимо выделить как процессы с положительной динамикой результативности, так и процессы, результативность которых в динамике снижается. Предлагаемая система диагностики имеет иерархическую структуру, в которой процессы низшего уровня обусловливают уровень результативности процессов высшего уровня [5, с. 14–19]. Таким образом, сформируется модель диагностики, демонстрирующая зависимость общего показателя результативности всех процессов, протекающих в регионе, от показателей результативности отдельных процессов и групп. При этом согласование процессов обеспечивает предлагаемой нами процессно-трансформационной диагностике комплексность, системность и, одновременно, возможность своевременного выявления отдельных проблем, негативных ситуаций и «проблемных» зон в региональной системе. Практическое использование предлагаемой процессно-трансформационной диагностики регионального развития опирается на следующую систему целей.



Рис. 1. Система целей процессно-трансформационной диагностики

Реализация целей первого уровня позволяет, во-первых, установить факт трансформации, то есть выявить изменения уровня благосостояния, и, во-вторых, идентифицировать характер, глубину и последствия изменений уровня регионального благосостояния.

Цели второго уровня позволяют установить сферу трансформаций: например, установить изменения в структуре экономики, эффективности использования ресурсного потенциала региона, выявить изменения социальной структуры общества, диагностировать его национально-культурные преобразования и оценить симметричность выявленных в экономической и социальной сфере изменений. При этом на этом этапе важно установить группы процессов, обусловливающих данные трансформации, диагностировать направления изменения их результативности. Диагностика направлений изменения результативности групп процессов, отвечающих за удовлетворение потребностей населения в материальной и нематериальной сферах, в свою очередь, позволяет выявить в каждой из групп процессы, которые направлены на удовлетворение потребностей, и процессы, затрудняющие формирование благ. Диагностика данных процессов и их типологизация представляет собой цели третьего уровня.

Цели четвёртого уровня позволяют выявить изменения результативности процессов, создающих блага, и процессов, препятствующих удовлетворению потребностей населения, определить глубину данных изменений и, таким образом, определить наличие угроз и перспектив регионального социально-экономического развития.

Учитывая взаимосвязь всех региональных процессов, на следующем, пятом эта-

пе диагностики следует выявить согласованные процессы, относящиеся к разным сферам и разным группам. Диагностика согласованных и несогласованных процессов позволяет определить резервы повышения результативности региональных процессов и увидеть скрытые возможности ликвидации проблемных ситуаций в региональном развитии. Повышение результативности, которое может достигаться за счёт совпадения динамики процессов, относящихся к разным сферам и группам, обеспечивает более высокий уровень удовлетворения потребностей населения, следовательно, более высокий уровень благосостояния.

Опираясь на представленную иерархию целей, представим модель диагностики трансформаций региональных социально-экономических процессов (рис. 2).

Методологическую основу предлагаемой модели образует сочетание общенаучных и синергетических принципов, включающее принципы: адекватности, достоверности, научной корректности, динамичности, многомерности, комплексности, сопоставимости, интегративности, нелинейности, стохастичности, самоорганизации, сложности и разнообразия, принцип узловых изменений. Представленное сочетание принципов обеспечивает достоверность результатов диагностики. При этом особенностью предлагаемой модели является достаточная наглядность выявляемых взаимосвязей, которая достигается за счёт вычленения в модели отдельных блоков функционально самостоятельных элементов диагностики, связанных в единое целое с помощью входов и выходов процессов, и демонстрирующих логику диагностики.

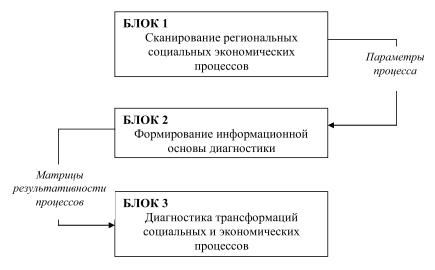


Рис. 2. Модель процессно-трансформационной диагностики региональной социально-экономической системы

Формирование структуры процесснотрансформационной модели диагностики потребовало сканирования диагностируемой региональной системы. Результатом сканирования явилось отражение в модели диагностики основных элементов региональной системы, которыми в нашем представлении являются процессы. При этом выходом из первого блока является система параметров оценки выделенных процессов, прежде всего их результативности, обеспечивающая возможность диагностики всех процессов, образующих региональную социально-экономическую систему, и отражающая существенные взаимосвязи между отдельными процессами и их уровнями.

Второй блок предлагаемой нами модели представляет собой формирование информационной основы диагностики. Параметры процессов, распределённые в соответствии с их иерархическими уровнями, формируют матрицы результативности, которые представляют собой информационную основу диагностики. Формирование данных матриц должно согласовываться в первую очередь с таким общенаучным принципом, как интегративность. Получение заполненных матриц представляет собой логический результат (выход) второго блока модели и позволяет перейти к третьему блоку – диагностике результатов процессов.

В соответствии с иерархией представленных нами целей диагностики необходимо осуществить декомпозицию поступающей в модель информации. На первом уровне стоит цель выявления изменений и идентификации характера изменений результативности в динамике региональных социально-экономических процессов. Следовательно, на первом этапе диагностики предполагается получение информации об общих тенденциях и направлениях регионального развития. Диагностируя характер и направления трансформаций, необходимо выявить их причины и закономерности. С нашей точки зрения, они обусловлены главным образом изменениями, происходящими внутри отдельных процессов, которые позволяет выявить диагностика параметров их результативности. Таким образом, осуществляется декомпозиция информации по сферам протекания процессов, и диагностика наиболее динамичной сферы региональной системы, а также оценка характера и направления выявленной динамики. Результатом такой диагностики является выявление «очага» трансформации, что соответствует достижению целей второго уровня: локализации сферы трансформационных социально-экономических процессов. Данный этап диагностики позволяет установить, какие из процессов, социальные или экономические, обусловливают изменения уровня благосостояния, отражающегося на изменении условий и качества жизни населения региона. При этом, как нам представляется, требуется диагностика причин таких изменений, которая может осуществляться на основе исследования интегральной результативности процессов, удовлетворяющих материальные и социальные потребности населения и формирующие соответствующие блага. Таким образом, необходима очередная декомпозиция информации, которая обеспечивает достижение целей третьего уровня: идентификацию трансформационных социальных и экономических процессов, оценку глубины и направлений их трансформации. На данном этапе необходимо идентифицировать наиболее подвижные группы процессов, отвечающих за формирование определённых благ, и определить характер их трансформаций: рост или снижение уровня удовлетворения существующих потребностей, а также состав потребностей, удовлетворение которых опережает или отстаёт от других.

Достижение цели четвёртого уровня, типологизация трансформационных социальных и экономических процессов обусловливает необходимость следующего этапа декомпозиции информации до уровня параметров результативности процессов, связанных с выполнением отдельных видов деятельности. На этом этапе диагностики представляется чрезвычайно важным выявить процессы, которые преобразовывают энергию поступающих ресурсов в полезные результаты, и процессы, которые преобразовывают эту энергию в результаты, препятствующие развитию системы, то есть растрачивающих ресурсный потенциал региональной системы, рассеивающих энергию этих ресурсов и обеспечивающих региональной системе определённый уровень энтропии. Типологизация данных процессов позволяет диагностировать проблемные ситуации, характеризующиеся неэффективным и нерезультативным использованием ресурсов, формирование разнообразных институциональных «ловушек» в форме коррупционных схем, деструктивных отношений собственности, налоговых и правовых «дыр» и т.п.; установить глубину проблемы, идентифицировать её источник: причину, по которой происходит рассеивание ресурсов. Однако для устранения выявленной причины необходимо выявить возможности и внутренние резервы системы [6]. Для этого необходимо достижение целей пятого уровня: оценки взаимосвязей между трансформационными экономическими и социальными процессами; группировки процессов по характеру взаимодействия и характеру трансформаций.

В живой и неживой природе рассеивание энергии, которой обладает любой объект, происходит вследствие его контактов с другими объектами. Используя данную аналогию при диагностике процессов, можно предположить, что рассеивание ресурсов социально-экономической системы является следствием взаимодействия процессов и их участников. Отмечая различные интересы участников процессов (их владельцев и клиентов), следует отметить, что их взаимодействие может быть согласованным (когерентным) и несогласованным (некогерентным) [7]. Результатом согласованного взаимодействия является синергетический эффект в использовании ресурсов. При этом данный эффект может быть как положительным, так и отрицательным. Положительный эффект может рассматриваться в качестве резерва развития региональной системы. Отрицательный – как угроза её развитию. Несогласованные процессы обусловливают высокий уровень стохастичности системы и создают угрозу её управляемости. При этом выявление на данном этапе согласованных процессов, определение характера согласованности (однофазовая или разнофазовая когерентность) позволяет диагностировать «зоны относительного благополучия», которые состоят из процессов с устойчивой положительной динамикой изменения параметров, «проблемные зоны», включающие процессы с устойчивой отрицательной динамикой, а также «зоны турбулентности», включающие процессы с неустойчивой динамикой, создающие риски и неопределённость с точки зрения перспектив развития региональной системы [8]. Таким образом, информация, полученная на выходе из данного блока, позволяет перейти к следящему блоку, задачами которого являются: во-первых, диагностировать характер трансформации, во-вторых, локализовать её причину, в-третьих, выявить резервы развития, в-четвёртых, прогнозировать дальнейшее развитие социально-экономической системы [9].

Таким образом, представленная на рис. 2 модель процессно-трансформационной диагностики отличается от существующих диагностических систем по ряду признаков: диагностика осуществляется

в соответствии с системой взаимосвязанных целей разного уровня; информационную основу диагностики формируют показатели результативности процессов, удовлетворяющих материальные и социальные потребности населения, и обусловливающих в регионе определённый уровень благосостояния; при этом в качестве критериев оценки предлагается использовать максимальные и минимальные показатели результативности этих процессов. Модель обладает основными свойствами системы: целостностью, целенаправленностью, неаддитивностью, эмерджентностью, которые позволяют произвести комплексную диагностику региональной системы, выявить трансформации социально-экономических процессов региона и установить их причины и возможные последствия [10].

Представленные особенности процессно-трансформационной диагностики свидетельствуют о модернизированном характере предлагаемой диагностической системы и обусловливают необходимость глубокой проработки её методического инструментария.

Список литературы

- 1. Хузина Г.Г. Сущность трансформационного процесса в экономической системе // ПСЭ. 2010. № 4. С. 61–65. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-transformatsionnogo-protsessa-v-ekonomicheskoy-sisteme (дата обращения: 14.11.2017).
- 2. Суспицын С.А. Измерение устойчивых трансформаций социально-экономического пространства // Регион: экономика и социология. 2009. N 2. C. 179–182.
- 3. Макаренко Т.Д., Вдовина Н.М. Оценка качества жизни населения. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2004. 156 с.
- 4. Дмитриева О.Г. Региональная экономическая диагностика. М.: Изд-во СПбУЭФ, 1992. 272 с. URL: http://absopac.rea.ru/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/Id-Notice:132620/Source:default.
- 5. Ковальчук Л.Б. Процессная модель региональной социально-экономической системы. Иркутск: Изд-во БГУ-ЭП, 2014. 149 с.
- 6. Юдина М.А. Диагностика проблем развития региональных социально-экономических систем на основе мультипараметрического моделирования: на примере Омской области: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Омск, 2015. 24 с.
- 7. Джеймс Харрингтон. Совершенство управления процессами / Пер. с англ. А.Л. Раскина; Под науч. ред. В.В. Брагина. М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. 192 с.
- 8. Чупров С.В. Неустойчивое равновесие и устойчивое неравновесие экономической системы. От воззрений Н.Д. Кондратьева к современной парадигме // Экономическая наука современной России. 2006. № 3 (34). С. 112–120.
- 9. Ротштейн А.П. Идентификация нелинейных объектов нечёткими базами знаний // Кибернетика и системный анализ. -1998. -№ 5. C. 53-61.
- 10. Лялина И.Р. Галкина Е.Э. Обеспечение комплексного развития региона: воспроизводственный аспект // Социально-экономические явления и процессы. 2011. № 7. 123 с.

УДК 330.59/.567.22:314(470.54)

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ НА ДЕМОГРАФИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В РЕГИОНЕ НА ПРИМЕРЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кулькова И.А., Плутова М.И.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург, e-mail: i.a.koulkova@mail.ru, MPlutova@yandex.ru

Статья содержит результаты проведенного авторами исследования влияния динамики показателей качества жизни населения на изменение показателей, характеризующих демографическую ситуацию в регионе. В методологическом плане авторы определили, какие из показателей качества жизни будут анализировать. Затем в процессе исследования авторы провели анализ динамики таких показателей качества жизни населения в Свердловской области, как достаток, наличие работы, доступность образования и здравоохранения, безопасность жизни. На следующем этапе авторами были проанализированы изменения основных показателей воспроизводства населения: рождаемость, смертность, естественный прирост населения, миграция. Для более полного анализа авторы рассчитали структуру рожденных детей по порядку рождений в семье. В заключение представлены предложения авторов по корректировке демографической политики в регионе, направленной на снижение уровня смертности населения.

Ключевые слова: качество жизни населения, естественное воспроизводство населения, рождаемость, смертность, миграция

INFLUENCE OF QUALITY OF LIFE ON THE REGIONAL DEMOGRAPHIC SITUATION CASE STUDY OF THE SVERDLOVSK REGION

Kulkova I.A., Plutova M.I.

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, e-mail: i.a.koulkova@mail.ru, MPlutova@yandex.ru

The article contains the results of the study conducted by the authors about the influence of the quality of life indicators dynamics on the change in indicators characterizing the demographic situation in the region. In the methodological plan, the authors determined quality of life indicators which would be analyzed. Then, the authors analyzed during the study the dynamics of such quality of life indicators in the Sverdlovsk region as: prosperity, availability of work, access to education and health care, and life safety. At the next stage, the authors analyzed the changes in the main indicators of population reproduction: birth rate, mortality, natural population growth, migration. For a more complete analysis, the authors calculated the structure of the children born in the order of births in the family. The authors' proposals are presented in conclusion for correcting the demographic policy in the region aimed at reducing the level of population mortality.

Keywords: quality of life, natural reproduction of the population, fertility, mortality, migration

Повышение уровня и качества жизни населения является главной стратегической целью социально-ориентированного общества, каким и является Россия в соответствии со ст. 7 Конституции РФ. Все остальные цели, задачи, ориентиры должны носить подчиненный характер [1]. В настоящий момент качество жизни сильно различается в разных регионах страны, поэтому важно понять, какие из элементов качества жизни оказывают наиболее существенное влияние на отдельные сферы жизни общества, например на демографические процессы.

Экономисты, демографы, социологи и политики, психологи и все те, кто осознает сущность благополучия человека и перспективы развития любой территории, ставят количественные и качественные характеристики населения в зависимость от процессов его естественного воспроизводства.

Цель исследования

Настоящая статья написана с целью проанализировать, какие из характеристик

качества жизни населения в наибольшей степени влияют на уровень рождаемости, естественное воспроизводство, продолжительность жизни. Совокупность данных параметров характеризует демографическое благополучие.

Методологические подходы к оценке качества жизни населения

Охарактеризовать однозначно и оценить обособленными показателями качество жизни невозможно, так как это многомерное и сложное явление. Качество жизни включает биологическую, социологическую и духовную составляющие, а также находится в зависимости от уровня удовлетворения духовных, материальных и социальных потребностей человека. Кроме того, на качество жизни человека оказывают влияние условия социального, физиологического и духовного развития [2].

Социально-экономический аспект развития населения трактует качество жизни как специфичный набор условий и характе-

ристик жизни человека, который характеризует степень удовлетворения потребностей различного уровня [3].

Оценка качества жизни осуществляется по субъективной самооценке человека уровня удовлетворенности своей жизнью; набору объективных показателей, оцениваемых компетентными специалистами [4].

Оценка качества жизни – довольно сложная научная и практическая задача, которая в значительной мере зависит от того, какие стандарты (индексы) качества жизни были взяты за основу. В рамках настоящей статьи авторы в силу ограниченности ее объема не анализировали состояние здоровья населения и духовное состояние общества, качественные характеристик проживающего в регионе населения, уровень самоубийств. Оценка качества жизни населения проводилась при помощи статистических показателей, характеризующих индивидуальные условия жизни (достаток, наличие работы и др.), а также социальную среду, непосредственно влияющую на качество жизни (доступность образования и здравоохранения, безопасность существования).

Анализ показателей качества жизни населения Свердловской области

Показатель качества жизни в значительной степени зависит от социально-экономической ситуации в изучаемом регионе. Социально-экономическое состояние Свердловской области за анализируемый

период не является стабильным и неоднозначно положительным (табл. 1).

Колебания индекса промышленного производства не затронули динамического роста номинальной начисленной среднемесячной заработной платы за весь исследуемый период, увеличивались и среднедушевые доходы населения. Среднемесячная заработная плата работников крупных и средних предприятий составила около 33 тысяч рублей, выше данного значения заработная плата работников металлургического производства, добычи полезных ископаемых и ряде других. Начиная с 2014 г., наблюдается снижение реальной заработной платы и увеличение доли стоимости потребительской корзины (набора потребительских товаров и услуг) в средней зарплате, что можно оценить как негативные факторы, снижающие качество жизни населения. При этом безработица в регионе остается на уровне естественной, что является положительным моментом.

Другим важным показателем качества жизни населения является состояние систем образования и здравоохранения. Система образования Свердловской области на всех уровнях реализации соответствует приоритетам государственной политики, которые обозначены в указах Президента Российской Федерации, государственной программе «Развитие образования» на 2013—2020 гг. и национальной образовательной инициативе «Наша новая школа».

Таблица 1 Основные макроэкономические показатели развития Свердловской области за 2011–2016 гг.

Показатель	Годы						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Индекс промышленного производства, %	106,3	108,3	100,1	100,8	96,3	107	
Номинальная начисленная среднемесячная за-	22179,2	25138,8	27608,2	29492,6	30979,5	32559,5	
работная плата одного работника по полному							
кругу организаций, р.							
Реальная начисленная заработная плата (за пе-	102,8	107,6	102,2	99,0	90,3	97,6	
риод),% к уровню предыдущего года							
Среднедушевые денежные доходы населения	24892,6	27851,7	31013,0	32157,3	34696,4	35138,4	
(в месяц)							
Численность населения с денежными дохода-	452,1	365,1	354,2	356,7	419,2	436,6	
ми ниже величины прожиточного минимума,							
тыс. чел.							
То же в% от общей численности населения	10,5	8,5	8,2	8,3	9,7	10,1	
Стоимость набора потребительских товаров	9307,0	10094,9	10867,5	11770,3	13093,5	14028,04	
и услуг населения, р.							
Доля стоимости набора потребительских това-	42,0	40,2	39,4	39,9	42,3	43,1	
ров и услуг в номинальной среднемесячной за-							
работной плате одного работника,%							
Уровень зарегистрированной безработицы,%	1,6	1,3	1,2	1,15	1,5	1,53	
Коэффициент напряженности	1,5	1,0	0,9	0,9	1,3	1,1	

Примечание. Составлено авторами по данным Росстата.

Таблица 2 Показатели, характеризующие доступность образования и медицины в Свердловской области за 2013–2016 гг.

Показатель	Годы				
	2013	2014	2015	2016	
Образовательные организации, реализующие основные об	разовате	льные пр	ограммы		
Дошкольные	1369	1302	1298	1270	
Общеобразовательные	1215	1143	1119	1088	
Профессиональные	156	160	152	182	
Высшего образования	32	28	29	24	
Студентов по очной форме обучения за счет бюджетных ассигнований областного бюджета	52400	52200	52300	52100	
Студентов, получающих государственные академические стипендии	28957	25914	24874	21066	
Студентов, получающих государственные социальные стипендии	854	7654	7927	8523	
Численность врачей, всего, тыс. чел.	19,2	19,0	18,4	18,6	
на 10000 чел. населения	44,5	43,8	42,4	42,9	
Численность среднего мед. персонала, всего, тыс. чел.	48,5	48,1	47,9	47,7	
на 10000 чел. населения	112,1	111,1	110,6	110,2	
Число больничных организаций	182	178	161	158	
Число больничных коек, всего, тыс. шт.	42,3	40,5	39,3	38,0	
на 10000 чел. населения	98,0	93,6	90,8	87,7	
Число амбулаторно-поликлинических организаций, единиц	512	531	516	566	
Число фельдшерско-акушерских пунктов, единиц	585	572	572	566	

Примечание. Составлено авторами по данным Росстата.

Финансирование системы образования из расходов консолидированного бюджета Свердловской области в 2016 г. составило более 29%, данный показатель с 2011 г. ежегодно увеличивался в среднем на 0,4%. В 2015 г. на образование было направлено более 85 млрд рублей, что на 5,3% больше, чем в 2014 г. Показатели доступности системы образования представлены в табл. 2.

Количественные параметры численности обучающихся в Свердловской области на всех образовательных уровнях за исследуемый период показывают тенденцию увеличения. При этом наблюдается сокращение количества образовательных учреждений дошкольного уровня на 7,8% в 2016 г. по сравнению с 2012, общеобразовательных на 11,7%, высшего образования на 33%. При этом количество профессиональных образовательных учреждений возросло на 15%, данные изменения обусловлены реформированием системы образования с учетом потребности рынка труда в рабочей силе. Наблюдается сокращение стипендиальной поддержки учащихся за счет бюджетных ассигнований и академических стипендий, однако, численность студентов, получающих государственные социальные стипендии за период с 2012 по 2016 гг. увеличилась в 10 раз.

Ежегодно на финансирование системы здравоохранения Свердловской области за счет средств федерального, областного и местных бюджетов и Территориального фонда обязательного медицинского страхования Свердловской области выделяется более 62 млрд рублей, что в расчете на одного жителя, например в 2015 г. составили 14593,9 рубля, что в среднем на 6% больше показателя предыдущего периода.

Безусловно, актуальным остается дальнейшее развитие профилактического направления в медицине и развитие медицинской реабилитации в периферийных городах регионов.

Безопасность жизнедеятельности, состояние правопорядка и улучшение криминальной обстановки существования человека — неотъемлемый элемент регионального развития, способствующий положительной тенденции воспроизводства населения.

Криминальная ситуация на территории Свердловской области на протяжении исследуемого периода характеризуется как контролируемая и характеризуется положительной динамикой снижения общего числа преступлений (табл. 3).

Общий уровень преступности на территории Свердловской области снизился более чем на 12%, наблюдается положительная динамика сокращения числа всех видов правонарушений в 2016 г. по сравнению с 2015 г. (убийств — на 7,6%; умышленного причинения тяжкого вреда здоровью на 17%; на 37% снизилась частота случаев хулиганства; более чем на 13% кражи). Произошло уменьшение количества случаев совершения преступлений в общественных местах за 2015—2016 гг.

Благодаря активным мерам в отношении соблюдения правопорядка и безопасности граждан сократилось количество преступлений в целом, при этом уровень выявления и расследования преступлений остается на высоком уровне. Реализация программы по

реализации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» (около 1700 камер по всей территории области) способствует профилактике уличных преступлений на территории Свердловской области.

Анализ демографической ситуации в Свердловской области

Свердловская область традиционно занимает лидирующие позиции по численности населения в УрФО в сравнении с другими регионами. Более 30% от общей численности населения округа – это жители Свердловской области, по данным Росстата плотность населения составляет более 22 человек на кв. километр, что почти в 3 раза больше среднего значения аналогичного показателя по Российской Федерации.

Таблица 3 Криминальная обстановка в Свердловской области за 2012–2016 гг.

Показатель	Годы				
	2012	2013	2014	2015	2016
Совершено (зарегистрировано) краж	29773	28566	27250	30121	25988
Раскрыто краж	10784	10202	9764	10736	10050
Удельный вес преступлений, совершенных в состоянии алкогольного опьянения,%	26,3	33,5	37,0	40,5	47,1
Расследовано преступлений, совершенных в состоянии алкогольного опьянения,%	10183	13003	14207	16620	17211
Доля выявленных преступлений, связанных с наркотическими веществами,%	64,6	72,8	77,4	73,2	90,6
Выявлено экономических преступлений, следствие по которым обязательно	5045	3240	2543	2718	2531
Преступления, совершенные в общественных местах	19072	22783	27375	29350	25763
Преступления, совершенные на улице	13793	16345	17104	17937	17055

Примечание. Составлено авторами по данным Росстата.

Таблица 4 Демографические показатели движения населения Свердловской области за 2011–2016 гг.

Население	Годы						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018
							(прогноз)
Родившиеся, чел.	58038	61649	62229	62875	62797	59881	61826
Умершие, чел.	60814	60155	59266	60447	61264	60640	61198
Естественный прирост/убыль, чел.	-2776	+1494	+2963	+2428	+1533	-759	+628
Доля женщин фертильного возраста (15–49 лет) в общей численности населения,%	27,6	25,7	24,8	24,5	24,5	23,9	24,1
Рождаемость на 1000 человек населения, чел.	13,5	14,3	14,4	15,5	14,4	13,8	14,3
Миграция, чел. прибывшие	89833	108036	112169	116206	110134	110341	_
выбывшие	77085	101171	110000	111967	109179	110110	_
сальдо миграции	+12748	+6865	+2169	+4239	+955	+231	_

Примечание. Составлено авторами по данным Росстата.

Таблица 5
Сравнительная таблица по очередности рождения детей за 2013–2015 гг.
в Свердловской области

Год	Всего родившихся,	По очередности рождения ребенка,%						По очередности рождения ребенка,%			
	чел.	1-й ребенок	2-й ребенок	3-й ребенок	4-й и более ребенок						
		у матери	у матери	у матери	у матери						
2013	63162	44,9	38,8	11,9	4,4						
2014	63478	41,7	39,9	12,9	5,6						
2015	62797	39,9	41,0	13,0	6,1						

Примечание. Рассчитано авторами по данным Росстата.

По данным табл. 4 видно, что после 4-х лет естественного прироста населения, в 2016 г. наблюдается превышение смертности над рождаемостью, которую не смогло компенсировать даже положительное сальдо миграции. Снижение рождаемости связано с сокращением первых рождений с 28332 чел. в 2013 г. до 25063 чел. – в 2016, что обусловлено неуклонным сокращением доли женщин фертильного возраста.

Что же касается реализации намерения иметь второго, третьего и последующих детей (табл. 5), то оно в значительно большей степени зависит от качества жизни населения в регионе, поэтому сравнительно высокое качество жизни населения в Свердловской области ведет к увеличению количества детей в семьях.

Определение влияния качества жизни на естественное воспроизводство населения

Для определения влияния отдельных аспектов качества жизни на естественное воспроизводство населения авторы провели корреляционный анализ более двадцати показателей, характеризующих качество жизни, с показателями рождаемости и смертности по муниципальным образованиям Свердловской области за ряд лет.

Наличие прямой связи выявилось только по двум показателям: уровень безработицы в муниципальном образовании и плотность населения на территории. Чем выше плотность населения и ниже уровень безработицы в населенном пункте, тем выше там рождаемость и ниже смертность. Гипотеза о наличии прямой связи демографических показателей с уровнем доходов населения не подтвердилась в исследовании.

Выводы

В 1990-е гг. наша страна переживала серьезный социально-экономический кризис, который повлек за собой кризис демографический, что значительно сократило численность населения в подавляющем большин-

стве регионов нашей страны. Сокращение численности в свою очередь увеличило нагрузку на одного экономически активного, негативно повлияло на ситуацию в пенсионном фонде и послужило причиной применения активных мер демографической политики. Реализация плана мероприятий, направленных на увеличение рождаемости в Свердловской области, изменила демографическую ситуацию в области, и, как следствие, с 2013 г. уже в 38 муниципальных образованиях Свердловской области, или 40,4%, преодолена естественная убыль населения [5, с. 3].

Однако дальнейший рост рождаемости в области практически невозможен из-за сокращения населения в фертильном возрасте, поэтому авторы считают, что в дальнейшем основным направлением демографической политики области должно стать сокращение смертности населения. Это подтверждает исследование авторов, которое показало, что данные, характеризующие рождаемость, отличаются по разным муниципальным образованиям незначительно, а относительные (в расчете на 1000 чел. населения) показатели смертности в 1,3–1,5 раза выше в отдаленных и малых муниципалитетах по сравнению с Екатеринбургом [6].

Анализ причин таких отклонений показателей позволяет авторам сделать вывод, что, наряду с пропагандой семейных ценностей, материнства и отцовства, которые призваны повысить рождаемость, необходима вдумчивая работа по снижению смертности. Поскольку основной причиной смертности остаются сердечно-сосудистые заболевания, которые напрямую зависят от образа жизни населения, борьба за сокращение показателей смертности должна идти, по мнению авторов, не за счет развития спорта, на что направлены все программы по развитию здорового образа жизни муниципалитетов области, а в первую очередь путем сокращения потребления алкоголя, отказа от курения, употребления средств. В соответствии наркотических

с определением ВОЗ [7, с. 12] качество жизни воспринимается в контексте культуры и системы ценностей, в которых индивиды живут, следовательно, необходимо формировать правильные ценности.

Второй резерв сокращения смертности населения авторы видят в уменьшении количества смертей от несчастных случаев, в том числе на производстве. Данное направление требует детального анализа для определения приоритетных мер социальной политики.

Список литературы

- 1. Плотников В.А., Шамахов В.А. Стратегии территориального развития и качество жизни // Управленческое консультирование. 2015. N2 7. С. 57–64.
- 2. Токторбаева К.А. Влияние неравенства на качество жизни населения // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15, № 8. С. 159—162.

- 3. Бобков В.Н., Масловский-Мстиславский П.С. Качество жизни: концепция и измерение. М.: Всероссийский центр уровня жизни, 1998.-20 с.
- 4. Шкуркин А.М., Шкуркин А.А. Мониторинг качества жизни населения муниципального образования: проблемы, принципы и перспективы построения. Хабаровск, 2010.-269 с.
- 5. О демографической ситуации в Свердловской области в 2014 году / Информация Министерства экономики Свердловской области. Режим доступа: http://economy.midural.ru/sites/default/files/files/demografiya.pdf (дата обращения: 15.11.2017).
- 6. Кулькова И.А., Плутова М.И. Взаимосвязь статистических показателей качества жизни и показателей естественного воспроизводства населения муниципальных образований // Известия Уральского государственного экономического университета. 2016. № 3 (65). С. 92—99.
- 7. Использование опросника качества жизни (версия ВОЗ) в психиатрической практике: Пособие для врачей и психологов / Под редакцией проф. М.М. Кабанова. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский Психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева, 1998. С. 12.

УДК 336.77.067.21

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПАНИИ ПО МИКРОФИНАНСИРОВАНИЮ СО СМЕШАННЫМИ ПОТОКАМИ ВХОДЯЩИХ РИСКОВ

Носова М.Г.

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», Томск, e-mail: nosovamgm@gmail.com

В этой статье предложена математическая модель изменения численности клиентов компании по микрофинансированию специализируется на двух видах кредитования, например простой займ и пенсионный займ. В качестве математической модели выбрана бесконечно-линейная система массового обслуживания М|М|∞ с неограниченным числом обслуживающих приборов, с простейшими входящими потоками заявок и экспоненциальным временем обслуживания их на приборах. Деятельность компании определяется двумя случайными процессами: числом заключенных кредитных договоров и капиталом компании. Исследование этих двух процессов выполнено методами теории массового обслуживания. Получена система дифференциальных уравнений, определяющая распределение вероятностей числа пришедших клиентов и числа заключенных договоров в системе массового обслуживания. Найден вид характеристической функции величины изменения капитала компании по микрофинансированию. Методом моментов найдены основные вероятностные характеристики капитала компании: математическое ожидание и дисперсия.

Ключевые слова: система массового обслуживания, компания по микрофинансированию, собственный капитал, $M|M|\infty$

A MATHEMATICAL MODEL OF MICROFINANCE COMPANY WITH MIXED FLOWS OF INCOMING RISKS

Nosova M.G.

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, e-mail: nosovamgm@gmail.com

In this paper a mathematical model of microfinance company with mixed flows of incoming risks is proposed. The microfinance company specializes in two types of lending, for example a simple loan and a pension loan. The mathematical model defines an infinitely linear queuing system $M|M| \gg M$ with an unlimited number of serving devices, with the simplest incoming streams of applications and with exponential service time. The company's activity is determined by two random processes: the number of concluded loan agreements and the company's capital. Research of these two processes is performed by the methods of queuing theory. By the method of moments the main probabilistic characteristics of the company's capital: mathematical expectation and variance are found.

Keywords: queuing theory, microfinance company, company's capital, $M|M|\infty$

В настоящее время развивающимся направлением в России является микрофинансирование. Востребованность микрофинансирования и доступность открытия компании делают этот сегмент кредитования весьма привлекательным для создания собственного бизнеса. В этих условиях большое значение приобретает исследование вопросов микрофинансирования. Одним из таких вопросов является оценка минимального размера создаваемого капитала компании и прогнозирование динамики капитала с учетом возможных рисков. Ведь собственный капитал является базовым показателем при расчете нормативов деятельности кредитной организации, установленных Банком России, и одним из ориентиров для оценки бизнеса рынком, а следовательно, и инвесторами [1].

Кредитование как отрасль экономики, связана с риском случайных финансовых потерь (невозвратом долга), которые возникают в результате нежелательных событий, например потеря трудоспособности,

болезнь, смерть и т.п. Основной принцип любого кредитования состоит в том, что кредитор (банк) выдает заемщику определенную денежную сумму на определенный срок под определенный процент, а заемщик обязуется вернуть денежную сумму на оговоренных условиях. В результате некоторых нежелательных событий заемщик не возвращает сумму, в этом случае кредитор несет финансовые потери.

Хотя для каждого кредитного договора значения денежной суммы (кредита) и возможной выплаты с учетом процентов строго оговорены, до момента заключения кредитного договора они неизвестны и должны рассматриваться как случайные величины. Моменты заключения новых кредитных договоров и наступления выплат по кредитам также являются случайными величинами.

Математическое моделирование является мощным и эффективным инструментом исследования таких вопросов и позволяет найти основные характеристики, а также

построить научно обоснованные прогнозы величины капитала компании.

В работе для построения математической модели предлагается применить модели и методы теории массового обслуживания. Рассмотрим классическую бесконечно-линейную систему массового обслуживания М|М| ∞ с неограниченным числом обслуживающих приборов, с простейшими входящими потоками заявок и экспоненциальным временем обслуживания их на приборах [2, 3].

Указанную систему массового обслуживания можно рассматривать как математическую модель потока клиентов некоторой компании по микрофинансированию, специализирующейся на двух видах кредитования, например простой займ и пенсионный займ [1]. Кредит выдается одной суммой, возврат кредита должен быть произведен в течение определенного срока, выплата процентов за использование кредитом происходит регулярно, процентная ставка фиксированная. Тогда приходящие заявки целесообразно разделить на две группы, каждая из которых обслуживается определённым образом.

На вход системы $M|M|\infty$ поступает смешанный поток, состоящий из двух простейших потоков (стационарный пуассоновский) договоров с параметрами λ_1 и λ_2 соответственно. Договоры 1-го типа поступают в первый блок обслуживания, 2-го типа — во второй блок обслуживания и занимают любой из свободных приборов, на котором выполняется их обслуживание в течение случайного времени, распределённого по экспоненциальному закону с параметрами μ_1 и μ_2 соответственно.

Деятельность компании по микрофинансированию можно охарактеризовать двумя случайными величинами: числом заключенных кредитных договоров k(t) и капиталом компании S(t). Будем считать, что потенциальный рынок кредитных услуг считается бесконечным.

Рассмотрим процесс изменения состояний случайных процессов k(t) и S(t) с течением времени t. Изменение числа кредитных договоров и значений капитала компании происходит в следующих случаях.

1. Компания по микрофинансированию заключает новый кредитный договор и выдает денежную сумму. Будем предполагать, что поток заключенных кредитных договоров состоит из двух простейших потоков с параметрами λ_1 и λ_2 . Очевидно, что заключение кредитного договора и выдача денежной суммы связаны с риском для компании. Вероятность того, что за время Δt компания примет на себя новый риск в зависимости от типа договора, равна $\lambda_1 \Delta t + O(\Delta t)$ и $\lambda_2 \Delta t + O(\Delta t)$. Каждый новый риск для ком-

пании связан с выдачей денежной суммы заемщику. ϕ_1 и ϕ_2 — размеры для первого и второго вида кредитования, которые являются случайными величинам с функциями распределения F_{ϕ_1} , F_{ϕ_2} и моментами $M\{\phi_1\}=a_1$, $M\{\phi_2^2\}=a_2$, $M\{\phi_2^2\}=A_1$, $M\{\phi_2^2\}=A_2$.

2. По каждому из k_1 заключенных кредитных договоров первого типа с интенсивностью λ_{ξ_i} выплачивается взнос по кредиту в размере ξ_1 , который является случайной величиной с функцией распределения F_{ξ_1} и моментами $M\{\xi_1\} = b_1$, $M\{\xi_1^2\} = b_2$. Выплаты вносятся независимо друг от друга, и поэтому за время Δt в компанию по микрофинансированию поступит такой взнос с вероятностью $k_1\lambda_{\xi_1}\Delta t+0(\Delta t)$. Аналогично по каждому из k_2 заключенных кредитных договоров второго типа с интенсивностью $\lambda_{\epsilon_{\lambda}}$ выплачивается взнос по кредиту в размере ξ_2 , который является случайной величиной с функцией распределения F_{ξ_2} и моментами $M\{\xi_2\}=B_1$, $M\{\xi_2^2\}=B_2$. Выплаты вносятся независимо друг от друга, и поэтому за время Δt в компанию по микрофинансированию поступит такой взнос с вероятностью $k_2 \lambda_{\xi_2} \Delta t + O(\Delta t)$.

3. В какой-то момент срок кредитного договора заканчивается. Будем считать, что срок, на который заключается кредитный договор, является случайной величиной с функцией распределения $F_1 = 1 - e^{-\mu_1 t}$ для первого типа и $F_2 = 1 - e^{-\mu_2 t}$ для второго типа. Каждый кредитный договор расторгается и «покидает» компанию, независимо от срока действия других кредитных договоров, с интенсивностями μ_1 и μ_2 . Тогда за время Δt кредитные договоры «покидают» компанию с вероятностями $k_1\mu_1\Delta t + 0(\Delta t)$ и $k_2\mu_2\Delta t + 0(\Delta t)$ соответственно.

4. Будем предполагать, что с каждым кредитным договором первого вида может наступить случай невозврата кредита с интенсивностью Ψ_{η_1} . Эти случаи для различных кредитных договоров независимы. С вероятностью $k_1 \psi_{\eta_1} \Delta t + O(\Delta t)$ наступают случаи невозврата крёдита, где η_1 – финансовые убытки компании. Размер η_1 – является случайной величиной с функцией распределения F_{η_1} и моментами $M\{\eta_1\}=c_1$, $M\{\eta_1^2\} = c_2$. Аналогично, с каждым кредитным договором второго вида может наступить случай невозврата кредита с интенсивностью ψ_{η_2} . Эти случаи для различных кредитных договоров независимы. С вероятностью $k_2 \psi_{n_2} \Delta t + O(\Delta t)$ наступают случаи невозврата кредита, где η_2 – финансовые убытки компании. Размер η, является случайной величиной с функцией распределения F_{η_2} и моментами $M\{\gamma\}=C_1$, $M\{\gamma^2\}=C_2$. Определим $l_1(t)$ и $l_2(t)$ как случайные процессы, которые характеризует число пришедших клиентов за время t за кредитами первого типа и второго типа, а $i_1(t)$ и $i_2(t)$ — число заключенных кредитных договоров каждого вида (выданных кредитов) в момент времени t.

Задача исследования данной математической модели состоит в нахождении распределения вероятностей

$$P(l_1, l_2, i_1, i_2, t) = P\{l_1(t) = l_1, l_2(t) = l_2, i_1(t) = i_1, i_2(t) = i_2, t\}$$
.

Составим Δt -методом прямую систему дифференциальных уравнений Колмогорова [3, 4]:

$$\begin{split} P(l_1,l_2,i_1,i_2,t+\Delta t) &= (1-\lambda_1\Delta t)(1-\lambda_2\Delta t)(1-i_1\mu_1\Delta t)(1-i_2\mu_2\Delta t)P(l_1,l_2,i_1,i_2,t) + \\ &+ \lambda_1\Delta t P(l_1-1,l_2,i_1-1,i_2,t) + \lambda_2\Delta t P(l_1,l_2-1,i_1,i_2-1,t) + \\ &+ (i_1+1)\mu_1\Delta t P(l_1,l_2,i_1+1,i_2,t) + (i_2+1)\mu_2\Delta t P(l_1,l_2,i_1,i_2+1,t). \end{split}$$

Откуда получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial P(l_1, l_2, i_1, i_2, t)}{\partial t} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + i_1 \mu_1 + i_2 \mu_2) P(l_1, l_2, i_1, i_2, t) + \lambda_1 P(l_1 - 1, l_2, i_1 - 1, i_2, t) + \\
+ \lambda_2 P(l_1, l_2 - 1, i_1, i_2 - 1, t) + (i_1 + 1) \mu_1 P(l_1, l_2, i_1 + 1, i_2, t) + (i_2 + 1) \mu_2 P(l_1, l_2, i_1, i_2 + 1, t). \tag{1}$$

Чтобы решить систему дифференциальных уравнений (1), определим производящую функцию четырехмерного распределения $P(l_1, l_2, i_1, i_2, t)$ в виде

$$F(x_1, x_2, y_1, y_2, t) = \sum_{l_1=0}^{\infty} \sum_{l_2=0}^{\infty} \sum_{l_1=0}^{\infty} \sum_{l_2=0}^{\infty} x_1^{l_1} x_2^{l_2} y_1^{l_1} y_2^{l_2} P(l_1, l_2, i_1, i_2, t) .$$

Для производящей функции $F(x_1,x_2,y_1,y_2,t)$ из (1) получим обыкновенное дифференциальное уравнение в частных производных 1-го порядка следующего вида

$$\frac{\partial F(x_1, x_2, y_1, y_2, t)}{\partial t} + \mu_1(y_1 - 1) \frac{\partial F(x_1, x_2, y_1, y_2, t)}{\partial y_1} + \mu_2(y_2 - 1) \frac{\partial F(x_1, x_2, y_1, y_2, t)}{\partial y_2} = (\lambda_1(x_1y_1 - 1) + \lambda_2(x_2y_2 - 1))F(x_1, x_2, y_1, y_2, t).$$

Откуда найдем выражение для производящей функции $F(x_1, x_2, y_1, y_2, t)$:

$$F(x_1, x_2, y_1, y_2, t) = \exp\left\{ (\lambda_1(x_1 - 1) + \lambda_2(x_2 - 1))t + \frac{\lambda_1 x_1}{\mu_1}(y_1 - 1)(1 - e^{-\mu_1 t}) + \frac{\lambda_2 x_2}{\mu_2}(y_2 - 1)(1 - e^{-\mu_2 t}) \right\}. (2)$$

В результате определен вид производящей функции четырехмерного распределения $P(l_1, l_2, i_1, i_2, t)$.

Из [5] известно, что капитал любой компании по микрофинансированию в определенный момент времени определяется следующим выражением:

$$S(t) = S(0) + \tilde{S}(t),$$

где S(0) — начальный капитал.

Изменение капитала компании по микрофинансированию можно описать выражением

$$\tilde{S}(t) = \sum_{i=1}^{l_1(t)} (\xi_{1i} - \psi_{\eta_1} \eta_{1_i}) - \sum_{l=1}^{l_1(t)} \varphi_{1l} + \sum_{i=1}^{l_2(t)} (\xi_{2i} - \psi_{\eta_2} \eta_{2_i}) - \sum_{l=1}^{l_2(t)} \varphi_{2l}.$$

Рассмотрим характеристическую функцию величины изменения капитала компании по микрофинансированию, полученного за время t. Очевидно, что

$$H(\alpha,t) = \mathrm{Me}^{-\alpha \widetilde{\mathbf{S}}(\mathbf{t})} = F(\varphi_1(\alpha), \varphi_2(\alpha), \psi_1(\alpha), \psi_2(\alpha), t).$$

Согласно виду производящей функции (2) найдем, что

$$H(\alpha, t) = \exp\left\{\frac{\lambda_{1} \varphi_{1}(\alpha)}{\mu_{1}} (\psi_{1}(\alpha) - 1) (1 - e^{-\mu_{1} t}) + (\lambda_{1} (\varphi_{1}(\alpha) - 1) + \lambda_{2} (\varphi_{2}(\alpha) - 1))t + \frac{\lambda_{2} \varphi_{2}(\alpha)}{\mu_{2}} (\psi_{2}(\alpha) - 1) (1 - e^{-\mu_{2} t})\right\},$$
(3)

где $\varphi_1(\alpha) = Me^{-j\alpha(-\varphi_{l_i})}$ – характеристическая функция величины $(-\varphi_{l_i})$, $\varphi_2(\alpha) = Me^{-j\alpha(-\varphi_{2_k})}$ – характеристическая функция величины $(-\varphi_{2_k})$, $\psi_1(\alpha) = Me^{-j\alpha(\xi_{l_i}-\psi_{\eta_1}\eta_{l_i})}$ – характеристическая функция величины $\xi_{l_i} - \psi_{\eta_1}\eta_{l_i}$, $\psi_2(\alpha) = Me^{-j\alpha(\xi_{2_k}-\psi_{\eta_2}\eta_{2_k})}$ – характеристическая функция величины $\xi_{2_k} - \psi_{\eta_2}\eta_{2_k}$, j – мнимая единица.

Среднее значение величины изменения капитала компании по микрокредитованию, полученного за время t, можно определить как

$$M\widetilde{S}(t) = \frac{1}{j} \frac{\partial H(\alpha, t)}{\partial \alpha} \bigg|_{\alpha=0}$$
.

Учитывая, что

$$\begin{split} \phi_{1}(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &1, \quad \phi_{2}(\alpha)\big|_{\alpha=0} = 1, \quad \psi_{1}(\alpha)\big|_{\alpha=0} = 1, \quad \psi_{2}(\alpha)\big|_{\alpha=0} = 1, \\ \phi_{1}\,'(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &-ja_{1}, \quad \phi_{2}\,'(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &-jA_{1}\,, \\ \phi_{1}\,''(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &-j^{2}a_{2}, \quad \phi_{2}\,''(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &-j^{2}A_{2}\,, \\ \psi_{1}\,'(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &j(b_{1}-\psi_{\eta_{1}}c_{1}), \quad \psi_{2}\,'(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &j(B_{1}-\psi_{\eta_{2}}C_{1})\,, \\ \psi_{1}\,''(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &j^{2}(b_{2}-2\psi_{\eta_{1}}b_{2}c_{2}+\psi_{\eta_{1}}^{2}c_{2}), 2 \quad \psi_{2}\,''(\alpha)\big|_{\alpha=0} = &j^{2}(B_{2}-2\psi_{\eta_{1}}B_{2}C_{2}+\psi_{\eta_{1}}^{2}C_{2})\,. \end{split}$$

Тогда методом моментов из (3) получим основные вероятностные характеристики [3, 6] капитала компании по микрофинансированию: математическое ожидание (среднее значение) и дисперсия:

$$\begin{split} MS(t) &= S(0) + M\tilde{S}(t) \;, \\ M\tilde{S}(t) &= \frac{\lambda_1}{\mu_1} \bigg(1 - e^{-\mu_1 t} \bigg) \Big(b_1 - \psi_{\eta_1} c_1 \Big) + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \bigg(1 - e^{-\mu_2 t} \bigg) \Big(B_1 - \psi_{\eta_2} C_1 \Big) - \lambda_1 a_1 t - \lambda_2 A_1 t \;, \\ D\tilde{S}(t) &= \frac{\lambda_1}{\mu_1} \Big(b_2 - \psi_{\eta_1}^2 c_2 \Big) \bigg(1 - e^{-\mu_1 t} \; \bigg) - 2 \frac{\lambda_1}{\mu_1} a_1 \Big(b_1 - \psi_{\eta_1} c_1 \Big) \bigg(1 - e^{-\mu_1 t} \; \bigg) - \lambda_1 a_2 t \; + \\ &\quad + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \Big(B_2 - \psi_{\eta_2}^2 C_2 \Big) \bigg(1 - e^{-\mu_2 t} \; \bigg) - 2 \frac{\lambda_2}{\mu_2} A_1 \Big(B_1 - \psi_{\eta_2} C_1 \Big) \bigg(1 - e^{-\mu_2 t} \; \bigg) - \lambda_2 A_2 t \;. \end{split}$$

Заключение

- 1. Построена математическая модель изменения численности клиентов компании по микрофинансированию со смешанными потоками входящих рисков в виде системы массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов (М|М|∞).
- 2. Получена система дифференциальных уравнений, определяющая распре-

деление вероятностей числа пришедших клиентов и числа заключенных договоров в системе массового обслуживания.

- 3. Найден вид характеристической функции величины изменения капитала компании по микрофинансированию.
- 4. Методом моментов найдены основные вероятностные характеристики капитала компании: математическое ожидание и дисперсия.

Список литературы

- 1. Носова М.Г., Тивякова М.В. Математическая модель компании по микрокредитованию в виде системы массового обслуживания // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 13–15 мая 2015 г.). Томск, 2015. Ч. 4. С. 304–305.
- 2. Моисеев А.П., Сергеев А.Е. Математическая модель страховой компании в виде СМО с неограниченным числом обслуживающих приборов // Научное творчество молодежи: материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции (Анжеро-Судженск, 17–18 мая 2012 г.). Анжеро-Судженск, 2012. Ч. 1. С. 37–38. URL: http://www.asf.ru/upload/sbornikNTM-2012-ch1.pdf (дата обращения: 01.11.2017).
- 3. Назаров А.А. Теория массового обслуживания: Учебное пособие / А.А. Назаров, А.Ф. Терпугов. Томск: Изд-во НТЛ, 2004. 228 с.
- 4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. М.: Книга по Требованию, 2013.-429 с.
- 5. Зорин А.В., Федоткин М.А. Оптимизация управления дважды стохастическими неординарными потоками в системах с разделением времени / А.В. Зорин, М.А. Федоткин // Автоматика и телемеханика. 2005. № 7. С. 102—111.
- 6. Назаров А.А., Носова М.Г. Математическая модель процесса изменения демографической ситуации и ее исследование // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2009. Т. 2 (20). С. 100–105.

УДК 332.1:711.45

ОЦЕНКА ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СХЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Петрищев В.П., Косых П.А.

ФГБУН Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, e-mail: koloss58@mail.ru

В статье проводится анализ и предлагаются пути решения проблемы плохого качества схем территориального планирования муниципальных районов Оренбургской области путем обоснования реорганизации административно-территориального деления Оренбургской области на основе оценки эксцентриситетов административных районов. Выявленные недостатки в системе территориального планирования, такие как слабая координация между специалистами проектной организации, искусственное занижение цены и сроков выполнения проектов документов территориального планирования, низкий научно-аналитический уровень проектной документации, негативно отражаются на общем уровне территориального планирования в регионах и затрудняют возможность их рационального применения. Важным направлением в совершенствовании схем территориального планирования является ориентация проектных решений на существующие нормы землепользования, обоснованные научными концепциями и теориями. В частности, для регионов степной зоны подобной научной основой является концепция степеведения. Для улучшения качества территориального планирования и придания им большей научности предлагается учитывать идеи Б.Б. Родомана о позиционном давлении и проявлении феномена эксцентриситета, выявленного нами в муниципальных районах Оренбургской области. Практическая значимость совмещения административных и геометрических центров связана с тем, что географическая конфигурация муниципальных районов оказывается в ряде случаев сложно управляемой в административном отношении. Причинами смещения положения районных центров относительно размещения геометрических центроидов являются: влияние областного центра и прочих городских центров, в том числе за счет воздействия соседних регионов; влияние транспортных магистралей и узлов, а также в результате делимитации границ муниципальных районов.

Ключевые слова: схемы территориального планирования, эксцентриситет, муниципальные районы, административно-территориальное деление

EVALUATION ECCENTRICITIES ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF THE ORENBURG REGION AND ITS PRACTICAL APPLICATION FOR IMPROVE THE QUALITY OF TERRITORIAL PLANNING SCHEMES

Petrishchev V.P., Kosykh P.A.

Institute of Steppe Ural Branch of Russian Academy of Science, Orenburg, e-mail: koloss58@mail.ru

The article analyzes and suggests solutions to the problem of poor quality of territorial planning schemes of municipal areas of the Orenburg region by the rationale for the reorganization the administrative-territorial division of the Orenburg region on the basis of an assessment of the eccentricities of the administrative districts. An important direction in the improvement of territorial planning schemes is to focus design decisions on the existing land regulations, sound scientific concepts and theories. In particular, for regions of the steppe zone of such a scientific basis is the concept of steppe science. To improve the quality of territorial planning and give them a more science-are invited to consider the ideas of B.B. Rodoman on positional pressure and manifestation of the phenomenon of eccentricity, we have identified in the municipal regions of the Orenburg region. The practical significance of combining the administrative and the geometric centers stems from the fact that the geographical configuration of municipal districts is in some cases difficult, managed administratively. Causes the shifted position of the regional centers regarding the placement of geometric centroids are: the impact of the regional centre and other urban centres, including due to the influence of neighboring regions; the impact of transport routes and nodes, and delimitation of municipal areas.

Keywords: territorial planning schemes, eccentricity, municipal districts, administrative and territorial division

Постановка проблемы

Одним из основных средств повышения эффективности использования земельных ресурсов является система территориального планирования на различных уровнях муниципального и регионального управления.

В настоящее время документы территориального планирования обнаруживают существенную разницу в качестве подготовки. Причинами являются:

1. Слабая координация между специалистами проектной организации, выполняющей схему территориального планирования (СТП) муниципального образования, специалистами местной администрации, предоставляющими сведения для подготовки СТП и научными сотрудниками, занимающимися вопросами устойчивого развития муниципалитетов. Как правило, в СТП отсутствует серьезный анализ природно-ре-

сурсного потенциала территории, оценка перспектив развития населенных пунктов, исторические аспекты развития системы расселения, развития планировочных осей и узлов. Прогнозирование ведется на уровне сценарного подхода без учета возможных экологических и экономических угроз, а также имеющегося потенциала развития.

- 2. При заключении контрактов на подготовку схем территориального планирования и генеральных планов поселений главную роль играет снижение цены (иногда прямой демпинг) и жесткое соблюдение сроков подготовки документов. В ряде случаев в регионах имеется одна организация, концентрирующая выполнение СТП сразу 70-80% муниципальных районов по сниженной цене [1], что, разумеется, в дальнейшем выливается либо в подготовку дополнительных соглашений на продление сроков, либо в заключение второй очереди контрактов на внесение дополнений и изменений в СТП (а по сути – это существенная доработка и исправление ошибок, возникших в результате спешки и нехватки квалифицированных исполнителей).
- 3. Научные организации и высшие учебные заведения практически не принимают участие в подготовке документов территориального планирования, что снижает их научно-аналитический уровень. В результате документы планировочной организации муниципалитетов, иногда, представляют собой информационные бюллетени, которые сопровождаются низкокачественной графикой, выполненной без использования геоинформационных технологий. Научные концепции рационального использования природных ресурсов, устойчивого развития территории, пространственно-временного развития муниципалитетов с учетом межмуниципальных и внутрирегиональных связей зачастую просто декларируются [2].

Научное обоснование как необходимая часть разработки любого документа территориального планирования встречается далеко не везде. Наиболее удачными в этом отношении являются СТП Соль-Илецкого района [3], где каждый из разделов материалов по обоснованию написан кратко и информативно. Кроме того, в данных материалах по тексту идут ссылки на картографический материал, что упрощает сопоставление теоретической составляющей с результатами практических наработок компании. В материалах по обоснованию СТП Кувандыкского района [3] также немало моментов, характеризующих компанию разработчика с положительной стороны. В частности, приведено сравнение района с другими по основным инвестиционным

показателям, дана оценка инвестиционной деятельности с приведением сильных и слабых сторон.

Важным направлением в совершенствовании схем территориального планирования является ориентация проектных решений на существующие нормы землепользования, обоснованные научными концепциями и теориями. В частности, для регионов степной зоны подобной научной основой является концепция степеведения [4]. Данная концепция предполагает следующие ключевые направления трансформации землепользования: сосредоточение сельскохозяйственного производства на элитных землях и формирование реальных кластеров, включающих высокопродуктивные пахотные угодья; диверсификация природопользования за счет включения в его состав альтернативных видов использования земель: природоохранных объектов (природных парков и заказников), туристско-рекреационных кластеров, кластеров экстенсивного животноводства, в том числе коневодства, кластеров бахчеводства и кумысолечения; использование научно обоснованных способов оценивания кадастровой стоимости земель с использованием коэффициентов, учитывающих качество земель (почвенноэкологический индекс).

Материалы и методы исследования

Для улучшения качества территориального планирования и придания им большей научности мы предлагаем учитывать идеи Б.Б. Родомана о позиционном давлении и проявлении феномена эксцентриситета, выявленного нами в муниципальных районах Оренбургской области. Б.Б. Родоман считает [5], что свойства объектов зависят от их положения в пространстве. Для большинства объектов в пространстве существует точка, место, где они могут наиболее оптимально функционировать. Речь может идти о глобальном и локальном территориальном оптимуме.

Объект, который не находится в точке территориального оптимума, испытывает давление места или позиционное давление.

Эта сила стремится переместить объект в оптимальное для него место и представляет собой вектор, скалярная величина которого пропорциональна разности оптимальных и фактических условий существования [5, с. 80]. Под влиянием позиционного давления легко подвижный объект (например, человек) перемещается, а малоподвижный (например, населенный пункт) оставаясь на месте, либо: изменяет свои свойства и функции; изменяет среду своего существования; деградирует и исчезает.

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием методик, предложенных Б.Б. Родоманом [5, с. 149], проведен анализ размещения муниципальных центров Оренбургской области и центроидов

геометрических фигур, описывающих территорию муниципальных районов. Учитывая, что территории районов имеют ряд изолированных в транспортном отношении полуанклавов, географическая конфигурация муниципалитетов оказывает существенное влияние на уровень управления.

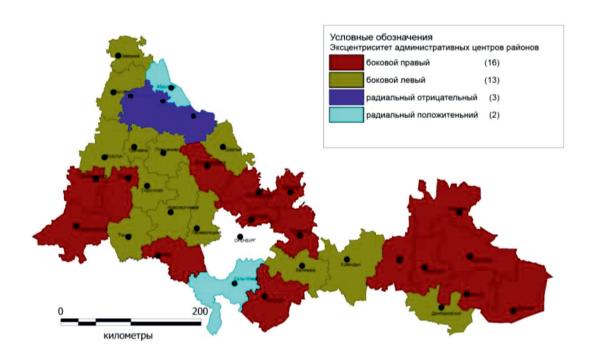
Ряд муниципальных районов Оренбургской области рассматривались как узловые для формирования внутриобластных надрайонов — территориальных объединений, имеющих общие исторические и экономические факторы развития. Каждый из муниципальных районов обладает административно-управленческим ядром (иногда несколькими ядрами) с развитой инфраструктурой и депрессивной периферией.

Расстояние от административного центра муниципального управления до центроида, описывающего геометрическую фигуру, повторяющую муниципальные границы, называется административно-географическим эксцентриситетом или диахерическим эксцентриситетом (греч. - diacheirisi -управление). По расстоянию от административного центра района до геометрического центроида определяется величина эксцентриситета – слабая (0–10 км), средняя (10–20 км), сильная (более 20 км). Влияние эксцентриситета на развитие муниципального образования (МО) заключается в основном в асимметричности развития его частей, формировании крупных массивов депрессивных территорий на окраинах МО.

Качественный анализ полученных эксцентриситетов проводился с использованием методики центрального угла, предложенной Б.Б. Родоманом [5]. Результатом типизации эксцентриситетов является карта направлений смещения административных и геометрических осей (рисунок). Смещение муниципального центра вправо относительно луча, между геометрическим центроидом и региональным центром (Оренбургом) представлено как правосторонний эксцентриситет. Соответственно, влево — левосторонний эксцентриситет.

В случае размещения административного центра на луче, соединяющем региональный центр и геометрический центроид муниципалитета, применяются еще два типа эксцентриситета, который был назван осевым (или аксонным) эксцентриситетом. Если муниципальный центр размещается на луче ближе к областному центру, то это учитывается как радиальный отрицательный эксцентриситет, если наоборот – радиальный положительный.

Активный радиальный положительный эксцентриситет характерен для города Соль-Илецк — центра Соль-Илецкого городского округа, дистальное смещение которого на фоне изменений АТД объясняется несмотря на влияние областного центра г. Оренбурга, разработкой уникального месторождения каменной соли и значением города в качестве важного транспортного узла.



Тип смещения административного центра относительно геометрического

Причины происхождения эксцентриситета могут быть вызваны притяжением/отталкиванием (индукцией) центра по отношению к другому центру, узлу, или территориальной оси. Влияние на эксцентриситет административно-территориальных изменений с образованием новых границ и новых центров представляют собой дизруптивные причины.

Особого внимания заслуживают муниципальные районы, центры которых сильно удалены от геометрического центра и обладают ярко выраженным осевым смещением. Если при этом границы муниципального района значительно изменялись, а административный центр оставался прежним, то речь идет об активном эксцентриситете. Если границы оставались прежними, а центром района стал новый населенный пункт, то возникает пассивный эксцентриситет. Большинство районов с активным эксцентриситетом возникло в результате реорганизации административно-территориального ния в форме укрупнения административнотерриториальных единиц (АТЕ) при одновременном тяготении центров к крупным территориальным осям и узлам. Последние образованы в основном месторождениями полезных ископаемых, железными и автомобильными дорогами (вторая половина XIX-XX вв.) или речными долинами (XVIII вв. – первая половина XIX вв.). Примерами таких муниципальных образований в Оренбургской области являются Тоцкий, Соль-Илецкий, Илекский, Курманаевский.

Осевой эксцентриситет формируется в результате тяготения муниципальных центров к более крупным городским центрам как в пределах «домашнего» региона, так и в результате внешнего влияния.

Примером правостороннего эксцентриситета является с. Курманаевка, испытывающее влияние местного городского центра — Бузулука. Воздействие территориальной оси, образованной транспортными магистралями, обусловило правосторонний эксцентриситет с. Кваркено — центра одно-именного района.

Очень важно учитывать исторические аспекты формирования центров вследствие влияния крупных административных преобразований в прошлом. Например, активный правосторонний эксцентриситет села Илек (в прошлом Илекский городок) связан с тем, что территория Илекского района в дореволюционное время относилась к Уральской области и землям Уральского казачьего войска [6], т.е. центром административного подчинения был г. Уральск, находящийся ныне в составе Республики Казахстан.

Большое влияние на эксцентриситет размещения административных центров оказывают значительные расстояния между территориальными осями и узлами, населенными пунктами, вызванные крупными водоразделами, озерно-болотными впадинами, лесными массивами. Результатом является формирование так называемого «вакуума» территориального влияния. Водораздел Общего Сырта образует крупный территориальный массив с разреженной плотностью населенных пунктов и транспортных путей. Поэтому центры районов, прилегающие к водораздельной оси Общего Сырта, обладают как административногеографическим, так и осевым эксцентриситетом. Влиянием природного фактора объясняется смещение центра Светлинского района, в центре которого размещается крупная впадина с серией озер (Шалкарегакара, Жетыколь и другие), что образует естественный «вакуум», сдвигающий п. Светлый от геометрического центроида района.

Районный центр Переволоцкого района имеет достаточно высокое смещение вследствие формирования «вакуума» в системе расселения на Общем Сырте, тяготения к крупной федеральной трассе Оренбур — Самара, а также укрупнения районов в 1965 г. [7, 8].

Три района — Асекеввский, Матвеевский, Пономаревский — обладают активным радиальным отрицательным эксцентриситетом вследствие тяготения как к местным городским центрам — Бугуруслану и Абдулино, так и смещения к железнодорожной магистрали — Самара — Уфа.

В целом эксцентриситет муниципальных образований определяется следующими причинами:

- влиянием крупных городских центров, в том числе внешними по отношению к региону:
- притяжением транспортных магистралей и речных долин;
- административно-территориальными преобразованиями;
- воздействием природных факторов на систему расселения.

Заключение

Анализ проблем современного территориального планирования показал, что необходимы изменения в работе занимающихся этим организаций, что может быть достигнуто путем предъявления больших требований к организациям-подрядчикам. Необходим научный подход при разработке СТП. Такой научный подход может быть достигнут в случае использования специалистами компаний-разработчиков научных

теорий ведущих российских и зарубежных географов. Наше исследование можно использовать как научную основу к оптимизации административно-территориального деления (АТД) Оренбургской области.

Работа выполнена по теме фундаментальных научных исследований, финансируемых из федерального бюджета РАН «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды».

Список литературы

- 1. Косых П.А., Петрищев В.П. О качестве, сроках и стоимости выполнения Схем территориального планирования муниципальных районов Оренбургской области // Аспирант. 2015. № 8 (2). С. 64–67.
- 2. Анализ и сравнительная характеристика схем территориального планирования муниципальных районов Оренбургской области / В.П. Петрищев, П.А. Косых,

- О.С. Борисова, И.С. Дьячкова // Междунар. науч.-исслед. журн. 2015. № 6 (37), ч. 2. С. 83–86.
- 3. Схемы территориального планирования муниципальных районов Оренбургской области: [Электронный ресурс]. — URL: http://fgis.economy.gov.ru/fgis/Strategis. FGISTestPageFGIS.aspx (дата обращения: 14.11.2017).
- 4. Проблемы геоэкологии и степеведения. Том IV. Оптимизация структуры земельного фонда и модернизация природопользования встепных регионах России / Под ред. чл.-корр РАН А.А. Чибилёва. Оренбург: ИС УрО РАН, 2015. 196 с.
- 5. Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.
- 6. Дубовиков А.М. Уральское казачье войско как военно-административная единица и историко-культурный феномен дореволюционной России // Казачество. 2015. № 9. C. 42—68.
- 7. Атлас Оренбургской области / Ред. коллегия: Ветров А.С., Барабанова Е.Н., Воронов А.М. и др. М.: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1969. 36 с.
- 8. Чибилёв А.А. О понятии Южный Урал (Южноу-ральский регион) и его естественных природных рубежах / А.А. Чибилёв // Изв. Оренб. отд. Рус. геогр. о-ва. -2007. -№ 3 (36). C. 44–49.

УДК 338.45:519.876.2

РЕАЛИЗАЦИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МОДЕЛИ «СТАРТАП – ИНВЕСТОР – КОРПОРАЦИЯ И ГОСУДАРСТВО»

Титов В.А., Вейнберг Р.Р., Савинова В.М.

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва, e-mail: vtitov213@yandex.ru, veynberg@gmail.com, savinovavm@gmail.com

В статье разработана модель многоагентной системы с формализацией классов агентов, параметрами и алгоритмами индивидуального поведения агентов типа: «стартап», «венчурный инвестор» и «корпорация», а также описанием их взаимоотношений. Модель позволяет формализовать инвестиционные взаимоотношения субъектов рынка инновационного предпринимательства. В отличие от других работ, в данной модели вводится пространственно-временной компонент, имитирующий распространение инноваций в пространстве и времени за счет случайной миграции агентов. Практическая значимость исследования заключается в разработке комплекса рекомендаций по применению результатов, полученных в ходе имитации, которые могут быть использованы в изучении поведения инновационной экосистемы органами государственной власти при разработке концепции инновационного развития на долгосрочную перспективу. Статья будет интересна преподавателям вузов, аспирантам и всем интересующимся моделированием динамических экономических систем.

Ключевые слова: мультиагентная модель, модель «Хищник – Жертва», инвестор, государство, корпорация, агенты, симуляция

IMPLEMENTATION OF MULTI-AGENT MODEL «START-UP – CORPORATION – INVESTOR AND STATE»

Titov V.A., Veynberg R.R., Savinova V.M.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: vtitov213@yandex.ru, veynberg@gmail.com, savinovavm@gmail.com

The article developed a model of a multi-agent system with formalization of agent classes, parameters and algorithms of individual behavior ofspecific type agents: «startup», «venture investor», «corporation» and description of their relationships. The model allows formalizing investment mutual relations of subjects of the innovative entrepreneurshipmarket. Unlike other models, this model includes a space-time component that simulates spread of innovations in space and time due to the random migration of agents. The practical significance of the study is to develop a set of recommendations during the simulation, which can be used to study the behavior of the innovation ecosystem by state authorities when creating concept of innovative development for long-term period. The article will be interesting to university teachers, postgraduate students and all interested in modeling of dynamic economic systems.

Keywords: multi-agent model, model «Predator - Pray», investor, state, corporation, agents, simulation

Одной из задач экономического развития региона является увеличение доли малого инновационного предпринимательства. Однако, независимо от того, насколько инновационные идеи или технологии выводятся на рынок, выживаемость стартапов в настоящее время невысока. Одними из ключевых проблем являются отсутствие необходимого объема капитала и отсутствие практического опыта ведения бизнеса.

Для успешного ведения бизнеса в современной экономике предприятиям необходимо наращивать конкурентные преимущества на рынке. Для достижения данной цели существует необходимость использования новых технологий и инновационных решений. Однако процесс вывода на рынок инновационной идеи или технологии сопровождается рядом негативных факторов, которые могут привести к снижению темпов, а затем и к остановке ее развития.

В связи с этим возникла идея создания имитационной модели «стартап — инвестор — корпорация». В рамках представленной модели были выделены основные показатели, которые являются регуляторами исследуемой среды. Они воздействуют на ее поведение в зависимости от изменения этих параметров. Были изучены различные методы максимизации и минимизации целевых функций, каждый из которых обладает рядом различных преимуществ. Из приведенных методов для каждого региона может быть выбран наиболее эффективный с учетом сложившихся условий на рынке, в том числе, с учетом объема необходимых ресурсов.

В настоящее время разработан программный продукт, который реализует описанную выше имитационную модель «стартап – инвестор – корпорация» [1]. Данное программное обеспечение позволяет задавать критерии для каждого типа агента, а также глобальные параметры самой модели (рис. 1).

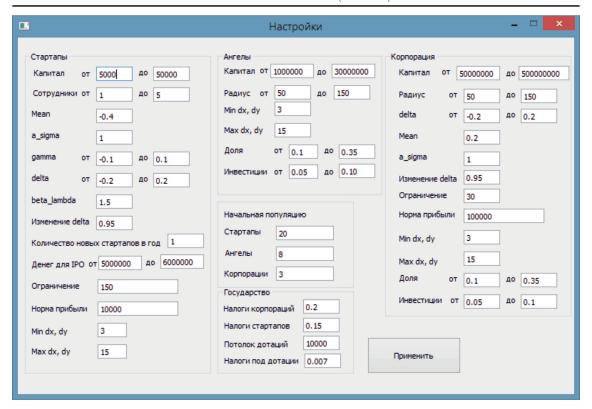


Рис. 1. Задание значений параметров разработанной модели

В результате работы представленной программной среды существует возможность рассмотрения взаимодействия всех категорий агентов: их случайное перемещение в «поле жизни», «поле зрения» инвесторов, процесс инвестирования, поглощения одной компании другой, процесс первичного размещения акций компаний на фондовой бирже [2]. Корпорации обозначены на диаграмме имитационной модели в виде квадратов розового цвета, бизнес-ангелы - синего, «стартапы» - круги зеленого цвета (на этапе семени), круги синего цвета (получившие «посевные» инвестиции или инвестиции 2-го раунда от «ангелов» и венчурных фондов) и красные круги (получившие инвестиции 3-го раунда от «корпораций») [3]. В случае первичного размещения акций на фондовой бирже агенты «стартапы» переходят в класс «корпорация» и принимают вид розового квадрата, а в случае поглощения - переходят в состав корпорации, сами при этом уничтожаясь [4]. Взаимодействие данных агентов представлено в виде анимации (рис. 2).

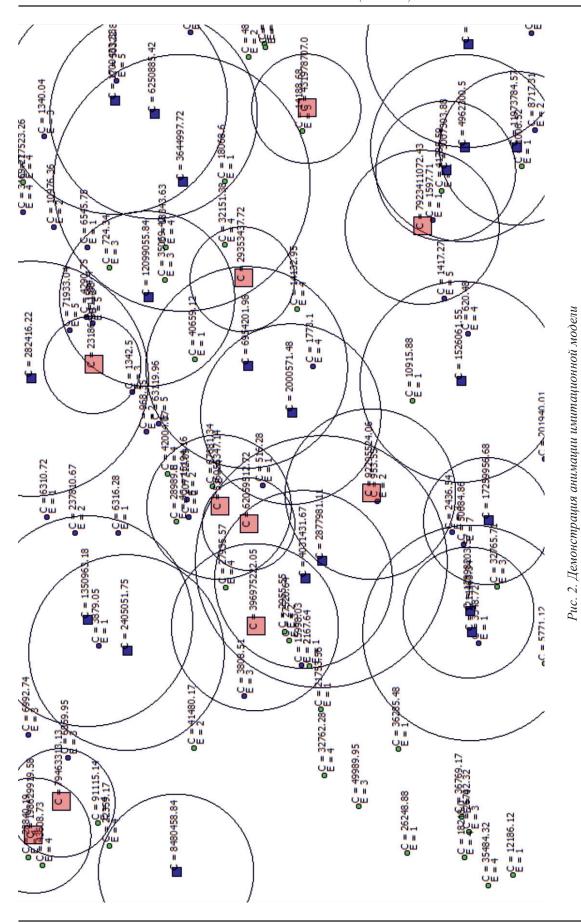
Основные показатели модели наглядно представлены в виде графиков, что позволяет проводить многогранный анализ результатов моделирования (рис. 3): попу-

ляции агентов, совокупный капитал каждого вида агента, сумма налоговых сборов с «корпораций» и «стартапов» в каждом периоде, количество инвестиций ангелов, корпораций, поглощений и первичных размещений акций за каждый период, а также количество умерших «стартапов» за период, обладавших положительным инновационным потенциалом, но не получивших инвестиции.

Были подобраны параметры, которые могут регулироваться в реальной экономике с позиции государства. Это позволит найти наиболее эффективный характер поведения представленной стохастической модели (таблица).

Настраиваемые показатели модели

Показатель	Переменная в модели
Налоговая ставка для «стартапов»	TS
Налоговая ставка для корпораций	TC
Интенсивность прироста «стартапов»	Θ
Дотационная ставка	Dn
Поле видения инвесторов	R



■ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ № 12, 2017

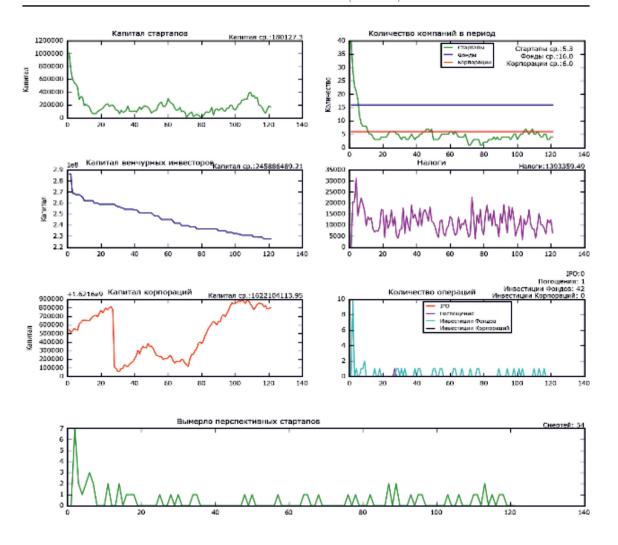


Рис. 3. Графический вывод результатов взаимодействия агентов

Также были приведены показатели, которые представляли собой целевую функцю:

- 1) накопленные налоги за все периоды моделирования (максимизировать) Taxsum;
- 2) средний объем совокупного капитала корпораций и «стартапов» за каждый период (максимизировать) CapSmean и CapCmean;
- 3) показатель количества вымерших перспективных «стартапов» (минимизировать) dRatep;

На основе данной модели был проведен ряд экспериментов, в каждом из которых были заданы различные параметры, при этом количество периодов составляло 120, где длительность каждого периода составляла 1 месяц. В рамках компьютерного эксперимента было проведено по 5 репликаций с одинаковыми значениями параметров для каждого режима, чтобы учесть наличие

в модели большого числа случайных вероятностных событий.

Гистограмма, представленная на рис. 4, наглядно демонстрирует результаты эксперимента.

Из рис. 4 можно сделать вывод о том, что результаты расчетов целевых функций различны в зависимости от типа вмешательства в виртуальную экономическую систему.

Было получено, что результаты расчетов модели инновационной экосистемы с каждой новой итерацией улучшались в зависимости от изменений параметроврегуляторов, которые были представлены ранее в таблице. Из приведенных результатов можно сделать вывод о том, что различные методы позволяют получить более эффективные значения каждой целевой функции:

а) вследствие прироста стартапов в каждом периоде с 6% до 18% значение прироста накопленных налогов за 120 периодов моделирования;

- б) дифференциация налоговой ставки: для стартапов снижена с 15% до 10% и для корпораций увеличена с 20% до 25%. Вдобавок прирост совокупного капитала корпораций составил 13%, т.е. было достигнуто малозначительное увеличение данного показателя, однако при первоначальных настройках модели уровень накопленных налогов оказался выше;
- в) при увеличении дотационной ставки для стартапов: несмотря на то, что бюджетные ассигнования для стартапов были увеличены в 7 раз, превышение накопленного уровня налога над изначальной суммой составило 8%, совокупного капитала корпораций 28%, совокупного капитала стартапов 57% при одинаковом количестве смертей;
- г) при введении центра координации стартапов и инвесторов (увеличении поля зрения инвесторов и корпораций до 40–60%) увеличился совокупный капитал корпораций на 24%, при этом показатель смертей инновационных проектов, обладающих высоким потенциалом, сократился на 32%;
- д) при увеличении инвестиционной прозорливости до уровня абсолютного видения достигнуто увеличение среднего совокупного капитала корпораций на 35% при неизменности остальных показателей;
- е) увеличение привлекательности идеи стартапов: прирост накопленных налогов 61%, прирост среднего совокупного капитала стартапов 162%, прирост среднего

совокупного капитала корпораций – 7%, количество смертей сократилось на 40%.

Была разработана имитационная модель многоагентной системы «стартап - инвестор - корпорация» с описанием взаимоотношений фирм-агентов: стартапов, венчурных инвесторов и корпораций с детальным описанием их параметров, функций, состояний [5]. Модель позволила формализовать инвестиционные взаимоотношения субъектов рынка инновационного предпринимательства, куда также введена пространственно-временная компонента, выражающая вероятность встречи инвестора с объектом инвестирования в пространстве и времени, а также то, что эта вероятность может меняться в зависимости от информированности агентов об окружающем информационном пространстве [6].

Данная имитационная модель была реализована в качестве программного продукта, написанного на языке программирования Python. Данное программное обеспечение позволяет не только интуитивно задавать и изменять значения большинства глобальных параметров, но и параметров агентов, а также возможность визуализации взаимоотношений агентов в режиме реального времени с отображением их на информационной плоскости, передвижением в информационном пространстве, полем видения агентов, результатами инвестиций или поглощений, а также отображением статистической информации, собираемой по результатам взаимодействия этих агентов [7].

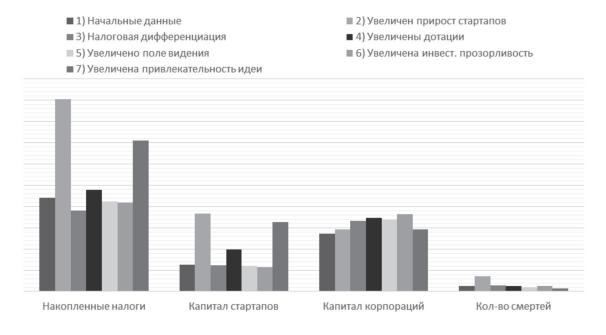


Рис. 4. Результаты экспериментов

В данной работе были представлены результаты вычислительных экспериментов на базе разработанного программного обеспечения. Эксперименты показали, что в настоящий момент дотационная поддержка правительства г. Москвы недостаточно эффективна, увеличение доли дотаций из годового бюджета с 0,7% до 5% может дать не только более высокую выживаемость стартапов, но и дальнейшее увеличение поступлений в бюджет за счет роста экономики. Модельные эксперименты, давшие положительные результаты при увеличении поля зрения агентов в модельном информационном пространстве, показали необходимость создания электронных систем кооперации инвесторов, корпораций и стартапов [8, 9].

Таким образом, государство, по мнению авторов, должно занять роль тонкого регулятора процессов инновационного развития. С одной стороны, оно должно создавать площадки для взаимодействия стартапов, инвесторов и корпораций для того, чтобы позволить рынку самому развиваться и дать возможность силе спроса и предложения отрегулировать процессы инновационного развития, где основополагающими являются процессы венчурного инвестирования и сделки по слияниям и поглощениям. С другой стороны, государство является основным выгодоприобретателем роста экономики за счет инновационной составляющей, поэтому оно должно заботиться о создании благоприятной среды для развития стартапов, обеспечивая их дотационной поддержкой, бизнес-обучению новоиспеченных предпринимателей, таким образом обеспечивая поддержку стартапов на всех этапах их развития.

Статья подготовлена при поддержке внутреннего гранта ФГБОУ «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по теме «Разработка моделей и информационно-аналитических технологий повышения эффективности государственного и корпоративного управления в условиях цифровой экономики» (2017).

Список литературы

- 2. Коршунова Е.Д., Смирнов С.Д. Стартап-проекты: проблемы, механизм взаимодействия участников, стратегии развития // Международная конференция «Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем» сборник трудов. 2014. С. 96—103.
- 3. Титов В.А., Вейнберг Р.Р. Экономические и биологические системы в инновационной экономике // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2016. № 7–3. -C. 518–519.
- 4. Титов В.А., Вейнберг Р.Р. Обзор модели взаимодействия агентов: «стартап-инвестор-корпорация» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2016. -№ 7-3. C. 518.
- 5. Bruton G.D., Rubanik Y. Resources of the firm, Russian high-technology startups, and firm growth // Journal of Business Venturing. -2002.-N 17(6). -P.553-576.
- 6. Boyarinov Yu.G., Borisov V.V., Dli M.I. Design and using method of fuzzy semi-Markov models to analyse comlex systems // Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya [IT for modeling and management]. − 2011. − № 1 (66). − P. 43–55.
- 7. Романов В.П., Ахмадеев Б.А. Моделирование инновационной экосистемы на основе модели «хищник-жертва» // Бизнес-информатика. 2015. № 1 (31). С. 7–17.
- 8. Akhmadeev B., Manakhov S. Effective and sustainable cooperation between start-ups, venture investors, and corporations // Journal of security and sustainability issues. 2015. Vol. 5, N $\!_{2}$ 2. P. 269–284.
- 9. Савинова В.М. Анализ рынка информационно-аналитических систем, используемых в ситуационных центрах глав регионов РФ // Информационные технологии и математические методы в экономике и управлении (ИТИММ-2017). Сборник научных статей. -2017.-C.61–64.

УДК 338.001.36:637.058

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ МОРОЖЕНОГО РАЗЛИЧНОГО РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА

Ульянова О.В., Тернавщенко К.О., Илларионова В.В.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, e-mail: z911@mail.ru

В последние годы наблюдается рост популярности мороженого и замороженных десертов с использованием натуральных стабилизаторов и эмульгаторов растительного и животного происхождения. В связи с этим актурально проведение оценки конкурентных преимуществ мороженого, выработанного по различным рецептурам. Для оценки конкурентных преимуществ были выбраны две типовые рецептуры мороженого пломбир 15% жирности, первая – с использованием натурального молока и натурального стабилизатора агароида, вторая – с использованием сухого молока и стабилизационной системы. Проведенные экономические расчеты эффективности показали, что рентабельность производства мороженого, выработанного по первой рецептуре, составляет 20,1%, а по второй – 35%. Кроме экономической эффективности, конкурентные преимущества мороженого зависят от органолептических и физико-химических показателей, а также сроков годности готового продукта. Приведенный комплексный анализ конкурентных преимуществ мороженого позволил сделать выводы об экономической выгоде производства мороженого по второй рецептуре, вместе с тем показал целесообразность перехода на производство мороженого с классическим рецептурным составом, так как в последние годы наблюдается увеличение доли потребителей, желающих покупать мороженое с «чистой» этикеткой.

Ключевые слова: мороженое, стабилизационная система, тепловой шок, производственная программа, рентабельность, прибыль, потребительские свойства, «чистая этикетка»

EVALUATION OF COMPETITIVE ADVANTAGES FOR ICE CREAM WITH DIFFERENT RECIPES

Ulyanova O.V., Ternavshchenko K.O., Illarionova V.V.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: z911@mail.ru

Currently there is a growing popularity of ice-cream and frozen desserts using natural stabilizers and emulsifiers of plant and animal origin. Therefore we evaluated the competitive advantages of ice-cream produced by different recipes. For assessing competitive advantage was chosen as two typical recipes ice cream (15% fat): first using natural milk and natural stabilizer agaroid, the second is using dry milk and stabilizer system. Economic efficiency calculations showed that the profitability of ice cream, developed the first recipe is 20.1% and the second recipe – 35%. In addition to economic efficiency, the competitive advantages of ice cream depend on the organoleptic and physicochemical indicators, as well as the shelf life of the product. The complex analysis of the competitive advantages of ice cream made it possible to draw conclusions about the economic effect of producing ice cream on the second recipe. But also analysis showed the advisability of switching to the production of ice cream with a classic formula composition, since in recent years there has been an increase in the proportion of consumers wishing to buy ice cream with a «clean» label.

Keywords: ice cream, stabilization system, carboxymethyl cellulose, heat shock, production program, profitability, profit, consumer properties, «clean label»

В настоящее время современные рецептуры на мороженое в значительной мере отличаются от рецептур, используемых в советский период. Это связано в первую очередь со стремлением предприятий сократить издержки при производстве и хранении продукции, с огромным выбором сырьевых ингредиентов, ориентацией на зарубежные тенденции.

Нормативные документы советского периода разрешали производить мороженое исключительно из цельного молока и жирных сливок, в качестве загустителей использовались натуральный желатин или агар-агар, в качестве эмульгатора — яичные продукты [1, 2].

С началом перестройки стали возможны отступления от классической рецептуры. В 1986 г. из технологической инструкции

по производству мороженого исключили 100-балльную оценку качества. С 1990 г. мороженое стало выпускаться по техническим условиям. В новые виды мороженого стали включать сухое молоко, растительные жиры, ароматизаторы, эмульгаторы и стабилизаторы.

Использование вышеперечисленных ингредиентов обусловлено особенностями производства мороженого. Во-первых, необходимо учитывать сезонность активных продаж, которые длятся достаточно непродолжительный период, от трех до четырех месяцев. Во-вторых, при малейших отклонениях от условий хранения мороженое теряет структуру и консистенцию [3].

Использование сухого молока вместо цельного имеет ряд преимуществ, так как позволяет сократить расходы на приемку,

лабораторные испытания и хранение цельного молока. Складское размещение сухого молока не требует особых температурных условий, сроки хранения его несопоставимо выше, что является бесспорным преимуществом по сравнению с цельным молоком.

В составе современных рецептурных компонентов мороженого производители широко применяют стабилизационные системы, представляющие собой комплекс стабилизаторов и эмульгаторов для формирования структуры продукта. Применение в рецептуре современного мороженого стабилизационных систем продиктовано необходимостью сохранения структуры и увеличения сроков хранения продукта. Наиболее широко в производстве мороженого используют композиции камедей, каррагинанов, карбоксиметилцеллюлозы и моно- и диглицеридов жирных кислот.

Таким образом, добавление новых компонентов в современные рецептуры мороженого обусловлено несколькими факторами:

- хладокомбинаты являются частными предприятиями, стремящимися сократить издержки и, соответственно, получить большую прибыль;
 - увеличение сроков хранения;
- необходимость сохранения качественных характеристик изготовленного продукта в течение установленного срока годности.

Тем не менее, учитывая все возрастающую тенденцию популярности мороженого, произведенного по классическим советским рецептурам, производители мороженого начинают оценивать целесообразность производства данных продуктов [4].

Целью работы явилась оценка конкурентных преимуществ одного вида мороженого, произведенного по классической (советской) и современной рецептурам, путем проведения сравнительных расчетов экономической эффективности.

В качестве типовых рецептур для расчетов конкурентных преимуществ были выбраны две рецептуры мороженого пломбир 15% жирности, первая — с использованием натурального молока и натурального стабилизатора агароида (эту рецептуру условно будем называть «классическая»), вторая — с использованием сухого молока и стабилизационной системы (далее — «современная»).

На основе данных производственной программы, сформированной на основе планового выпуска продукции, учитывающего коньюнктуры рынка и производственные мощности предприятия, произвели расчёт потребности предприятия в сырье и материалах при производстве мороженого по двум рецептурам при плановом объеме производства 750 тонн. Данный объем производства

является показателем значительно ниже среднеотраслевого и объясняется вводом новой продукции с неизученным спросом и не определённой рыночной нишей (табл. 1).

Полученные расчёты свидетельствуют о снижении стоимости сырья и материалов при производстве мороженого по современной рецептуре на 2916,9 тыс. руб.

На следующем этапе была определена потребность предприятия в материальных ресурсах. Расчет производился на основании норм расхода сырья, основных и вспомогательных материалов. При расчетах учитывали особенности технологии производства и рецептурного состава мороженого, произведенного по классической («советской») и современной рецептурам.

Удельная норма расхода сырья рассчитана по рецептуре продукции с учетом отходов и потерь в производстве (табл. 2).

В связи с тем, что изменение рецептуры мороженого не требует изменения способов хранения, транспортировки и упаковки мороженого потребность и стоимость тары и тароупаковочных материалов рассчитывали без изменения с учетом особенностей рецептур мороженого.

При планировании производства продукции для расчёта её полной себестоимости необходимо определить расходы воды, электроэнергии, холода и пара в натуральном и стоимостном выражениях. В процессе планирования потребности в воде, электроэнергии и холоде нами был учтён объем производства и регулярность выпуска продукции. Данные показатели относятся к материально-технической базе предприятия (табл. 3).

Проведенные расчеты показали, что изменение рецептуры мороженого не повлекло за собой изменение объёмов расхода воды и энергии. Их стоимость при планируемом выпуске продукции по двум рецептурам составила 278,2 тыс. руб.

Затем проводили стоимостную оценку всех ресурсов, используемых в процессе производства мороженого по оцениваемым рецептурам, а также других затрат, необходимых при их производстве и реализации.

Расчёт себестоимости продукции представляет собой важнейший качественный показатель, на основании, которого мы можем делать выводы об экономической эффективности производства мороженого по современной рецептуре (табл. 4).

Данные расчётов свидетельствуют о целесообразности производства мороженого по современной рецептуре. Применение в рецептуре современного мороженого стабилизационных систем и сухого молока позволит уменьшить себестоимость на 6416,5 тыс. руб. или на 5%.

Таблица 1 Расчет потребности предприятия в сырье и материалах

Сырье, материалы	Норма рас- хода, кг/т	Цена ед. ресурса, руб.	Стоимость, тыс. руб.			
1	2	3	4			
Мороженое пломбир по классической рецептуре						
Молоко коровье цельное (жир 3,2%, СОМО 8,1%)	480,0	26,0	9360,0			
Масло коровье сливочное несоленое (жир 82,5%)	134,5	400,0	40350,0			
Молоко коровье цельное сухое (жир 25,0%, СОМО 71,0%)	150,0	238,0	26775,0			
Молоко сухое обезжиренное (СОМО 95,0%)	43,9	207,0	9088,0			
Caxap	74,8	40,0	2244,0			
Агароид (сух. веществ 82,0%)	3,0	1650,0	3712,5			
Ванилин	0,1	1600.0	120,0			
Вода питьевая	113,7	6,0	511,7			
Вафельный стакан	85,6	130,0	8346,0			
Итого	98234,7					
Мороженое пломбир по совреме	нной рецепт	ype				
Масло сливочное крестьянское (жир 72,5%, СОМО 2,5%)	175,0	340,0	44625,0			
Молоко цельное сгущенное с сахаром (жир 8,5%, СОМО 20,0%)	60,0	130,0	5850,0			
Молоко коровье цельное сухое (жир 25,0%, СОМО 71,0%)	75,0	238,0	13387,5			
Молоко сухое обезжиренное (СОМО 95,0%)	34,0	207,0	5278,5			
Сахар-песок	114,0	40,0	3420,0			
Стабилизационная система	3,0	600,0	1350,0			
Ванилин	0,1	1600,0	120,0			
Вода питьевая	538,9	6,0	2425,0			
Вафельный стакан	85,6	130,0	8346,0			
Итого		84802,0				

 Таблица 2

 Расчет потребности и стоимости тары и тароупаковочных материалов

Наименование	Наименование тары	Норма рас-	Объем	Цена ед.	Стоимость,
продукции		хода на 1 т,	пр-ва, т	тары, р.	тыс. руб.
		КГ., ШТ.			
Мороженое	Плёнка упаковочная	57	750	250,0	10687,5
по классической	Гофроящик	357		15,0	4016,3
рецептуре	Скотч	500		0,5	187,5
	Паспорт – этикетка на гофроящик	357		0,35	93,7
	Итого				14985,0
Мороженое по современной рецептуре	Плёнка упаковочная	57	750	250,0	10687,5
	Гофроящик	357		15,0	4016,3
	Скотч	500		0,5	187,5
	Паспорт – этикетка на гофроящик	357		0,35	93,7
	Итого				14985,0

Снижение себестоимости повлияет на конечные показатели эффективности производства: прибыль и рентабельность. На величину рентабельности продукции значительное влияние оказывает выбранная ценовая стратегия, которая

определяется в зависимости от выбранных целевых ориентиров. Ключевой целью при реализации современного мороженого является завоевание рыночной ниши и максимальное увеличение сбыта продукции [5].

 Таблица 3

 Расчет потребности и стоимости воды и энергии всех видов

Продукция,	В	ода	Холо	ЭД	Пар)	Электроэ	нергия
показатели	норма	на весь	норма рас-	на весь	норма рас-	на весь	норма рас-	на весь
	расхода	выпуск м ³	хода на 1 т,	выпуск	хода на 1 т,	выпуск	хода на 1 т,	выпуск
	на 1 т, м ³		ГКал	ГКал	ГКал	ГКал	кВтч	кВтч
Мороженое	12,2	62,2	135	38,9	0,26	75,1	20	102,0
по классиче-		ĺ		ŕ	ĺ			
ской рецептуре								
Мороженое	12,2	62,2	135	38,9	0,26	75,1	20	10,20
по современ-		ĺ		ŕ	ĺ			·
ной рецептуре								
Цена ед.	6	5,8	0,38	5	385		6,8	
ресурса, руб.			ĺ					
Стоимость	278,2							
на весь выпуск,								
тыс. руб.								

Расчет себестоимости продукции

Таблица 4

Статьи затрат	Затраты на весь объем, тыс. руб.		
	Мороженое по классиче- ской рецептуре	Мороженое по современной рецептуре	
1. Сырье и основные материалы	98234,7	84802,0	
2. Тара и тароупаковочные материалы	14985,0	14985,0	
3. Топливо и энергия на технологические цели	278,2	278,2	
4. Затраты на оплату труда рабочих	4500,0	4500,0	
5. Страховые взносы во внебюджетные фонды	1350,0	1350,0	
6. Содержание и эксплуатация оборудования	33750,0 (75%)	30250,0	
7. Общепроизводственные расходы			
8. Общехозяйственные расходы			
9. Коммерческие расходы			
Итого себестоимость	153097,5	136165,2	

 Таблица 5

 Основные технико-экономические показатели производства мороженого

Показатели	Мороженое по классиче- ской рецептуре	Мороженое по современ- ной рецептуре
1. В натуральном выражении, т/год	750	750
2. Выручка от реализации, тыс. р.	183798,2	183554,7
3. Полная себестоимость продукции, тыс. р.	153097,5	136165,2
4. Себестоимость 1 порции (100 гр.), руб.	20,4	18,1
5. Затраты на 1 рубль товарной продукции, коп.	83,2	74,2
6. Прибыль от реализации продукции, тыс. р.	30700,7	47389,5
7. Цена оптовая отпускная за единицу, руб.	39,0	28,0
8. Рентабельность продукции,%	20,1	35,0

Учитывая основные характеристики и потребительские свойства современного мороженого, а также конъюнктуру рынка, нами выбрана ценовая стратегия «наступления на рынок», предполагающая снижение цены по отношению

к среднерыночной цене. Данные основных технико-экономических показателей мороженого в разрезе двух рецептур с учётом снижения себестоимости и выбранной ценовой стратегией представлены в табл. 5.

В результате произведенных расчётов можно сделать вывод, что производство мороженого по современной рецептуре экономически целесообразно. Рентабельность производства мороженого, выработанного с использованием сухого молока и стабилизационных систем, составляет 35%, тогда как с использованием натурального молока и натурального стабилизатора (агароида) – 20,1%.

Необходимо отметить, что при расчётах не был учтён экономический эффект, получаемый в результате увеличения срока годности современного образца до 12 месяцев, тогда как у мороженого, произведенного по классической рецептуре, срок годности варьируется от трех до шести месяцев.

Кроме того, снижение себестоимости мороженого, произведенного по современной рецептуре, даёт возможность снижать оптовую отпускную цену на 11 рублей, что является необходимым условием при вхождении товара в рынок.

Однако необходимо учитывать, что мороженое, произведенное по «современной» рецептуре, уступает по вкусовым характеристикам классическому мороженому и содержит в составе компоненты с индексом «Е», чем может вызывать недоверие у покупателей. Снижение цены будет являться одним из конкурентных преимуществ предлагаемого мороженого и позволит снизить уровень эластичности спроса по цене [1, 2].

Обобщение аналитического материала позволило нам определить ключевые преимущества и недостатки «классической» и «современной» рецептур.

К преимуществам «классической» рецептуры относятся:

- натуральный состав без включения ингредиентов с индексом «Е», что вызывает большее доверие потребителей;
- переработка молока в месте его производства (в том числе для производства мороженого с использованием сырого молока)
 и транспортирование молочных продуктов в другие регионы в виде готовых продуктов;
 - выраженный вкус готового продукта;
- высокие потребительские свойства мороженого, соответствующие принципам здорового питания.

К недостаткам «классической» рецептуры относятся:

- дороговизна сырьевых компонентов;
- небольшой срок хранения продукции;
- низкая устойчивость мороженого к «тепловому шоку»;
- неоднородность сырьевой базы (молоко) и, как следствие, нестабильное качество готового продукта;

- необходимость наличия специально оборудованного участка приемки и хранения сырья [1, 2].

Преимущества «современной» рецептуры заключаются в следующем:

- использование сухого молока снижает зависимость от колебаний количества молока на рынке и нестабильности качества молочного сырья (фактор сезонности);
- снижение затрат на приемку молока (при использовании сырого молока необходим отдельный цех для хранения охлажденного молока-сырья; постоянный лабораторный контроль);
- длительный срок хранения продукции (чаще всего 12 месяцев, некоторые производители пролонгируют до 18 месяцев);
- устойчивость к «тепловому шоку» за счет использования комплексных стабилизационных систем;
- возможность транспортирования на значительные расстояния с сохранением качества и потребительских свойств;
- стабильность технологического процесса;
- невысокие затраты на формирование стабильных условий хранения сырья, поскольку оно не требует жестких параметров хранения, хранится в широком диапазоне температур [3, 4].

При этом можно выделить следующие недостатки мороженого, выработанного по «современным» рецептурам:

- недостаточно выраженный вкус пломбира;
- использование в составе трехчетырех компонентов с индексом «Е», которые вызывают недоверие у покупателей;
 - зависимость от импортного сырья;
- невозможность прослеживаемости сырьевого источника импортного сырья при его использовании с возможной фальсификацией сырьевых компонентов.

Таким образом, проведенная оценка конкурентных преимуществ мороженого пломбир, произведенного по классической (советской) и современной рецептурам, путем проведения сравнительных расчетов экономической эффективности показала, что в современных экономических условиях экономически выгодно производить мороженое с применением современных стабилизационных систем. Однако необходимо также рассматривать возможность перехода на производство мороженого с классическим рецептурным составом, так как в последние годы наблюдается увеличение доли потребителей, желающих покупать мороженое с «чистой» этикеткой.

Список литературы

- 1. Творогова А.А., Ситникова П.Б., Коновалова Т.В., Спиридонова А.В. Мороженое без пищевых добавок: новые возможности в стабилизации структуры // Сборник научных трудов к 85-летию ВНИХИ «Научнопрактическое обеспечение холодильной промышленности» / под общ. ред. Белозерова Г.А. М., 2015. С. 390–397.
- 2. Коновалова Т.В., Ситникова П.Б. Особенности формирования структуры мороженого с «чистой» и «простой» этикетками // Сборник научных трудов VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Фундаментальные и прикладные исследования по без-
- опасности и качеству пищевых продуктов». 2014. C. 112-115.
- 3. Аймесон А. Пищевые загустители, стабилизаторы и гелеобразователи: пер. с англ. СПб.: Профессия, 2012. 408 с.
- 4. Ульянова О.В., Илларионова В.В., Губа Е.Н. Оценка эффективности стабилизационных систем при производстве мороженого // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2017. \cancel{N} 2-3. \cancel{C} . 112-114.
- 5. Молчан А.С., Малашенко Н.Л., Щербакова К.О. Об особенностях управления оборотными средствами на предприятиях пищевой промышленности // Современная экономика России: опора на внутренние резервы и поворот на Восток Материалы международной научно-практической конференции. 2015. С. 60—69.

УДК 330.131.52:631.588

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Утенков Г.Л.

Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации СФНЦА РАН, Краснообск, e-mail: utenkov1951@mail.ru

Возделывание зерновых культур является преобладающим, а производство пшеницы составляет основу зернопродуктового подкомплекса страны и определяет ее продовольственную безопасность. Однако биологический потенциал возделываемых культур реализуется на одну треть. Ряд научно-исследовательских учреждений рекомендуют освоение зональных интенсивных технологий. Для условий Сибири с экстремальными почвенно-климатическими условиями СибНИИЗИХ СФНЦА РАН не рекомендует применять интенсивные технологии. Любая технология содержит определенную последовательность технологических операций. Но сама проблема управления, заключающаяся в выборе оптимального числа операций, определении их размера и времени выполнения, не решена даже в системах точного земледелия. При выборе технологии отсутствует системный подход. Отсутствует мера близости для оценки неоднородности почвенного покрова. Не определен уровень преобразования неоднородности почвы. Цель работы: разработать методические положения и установить взаимосвязи и зависимости между основными свойствами и состоянием почвы, а также показателями технологических операций, обеспечивающих требуемую эффективность машинных технологий возделывания зерновых культур, как сложных систем. Основные результаты. Использование методических положений синергетики позволило установить, что применение усредненных для почвенноклиматических зон агротехнологий не обеспечивает получение максимальной урожайности одновременно на всей площади пашни. Для конкретных условий предложен автоматизированный технологический комплекс почвообработки, а для выделения однородных участков по обобщенному показателю твердости почвы, предложены новые технические решения на уровне изобретений.

Ключевые слова: неоднородность почвы, твердость почвы, технологическая операция, агротехнология, технологический комплекс почвообработки, точное земледелие, системный подход, синергетика, синтез

TO ESTIMATE THE EFFICIENCY OF MACHINE TECHNOLOGIES OF CULTIVATION GRAIN CROPS

Utenkov G.L.

Siberian research Institute of agriculture and chemicalization SFNCE RAS, Krasnoobsk, e-mail: utenkov1951@mail.ru

The cultivation of crops is predominant, and wheat production represented the basis of grain products sub complex of the country and determines its food security. However, the biological potential of crops is realized by one-third. A number of research institutions recommend the use of the zonal intensive technologies. For conditions of Siberia and extreme-mi soil and climatic conditions SibRIACH SFSCA RAS wounds is not recommended to apply intensive technologies. Every technology contains a certain sequence of technological operations. But the management problem consists in choosing the optimal number of operations, determining their size and time of execution, not solved even in systems of precision farming. The choice of technology there is no systematic approach. There is no measure of proximity to evaluate the heterogeneity of the soil cover. Not determined the level of conversion of heterogeneity of the soil. Objective: to develop methods and establish relationships and dependencies between the basic properties and soil condition, as well as indicators of technological operations, deliver-ing the desired machine efficiency of technologies of cultivation of grain cultures as complex systems. Main results. The use of methodological principles of synergetics has allowed to establish that the use of averaged soil – climatic zones agro-technologies produces maximum yields at the same time on all arable land. For the specific conditions of the proposed auto-matirovanie technological complex of cultivation, and for the allocation of homogeneous plots of Poincare illustrating the hardness of the soil, the proposed new technical solutions at the level of inventions.

Keywords: heterogeneity of soil, soil hardness, process operation, agrotechnology-Gia technological complex tillage, precision farming, system approach, synergy, synthesis

В отрасли растениеводства сельскохозяйственного производства преобладает возделывание зерновых культур, общая площадь которых в Сибирском федеральном округе в 2016 г. составила 9939,97 тыс. га. Причем площади посевов пшеницы занимают 65%. Производство пшеницы составляет основу зернопродуктового подкомплекса страны, от развития которого

в значительной степени зависит ее продовольственная безопасность. Однако биологический потенциал созданных сортов реализуется на одну треть, что обусловлено низким уровнем технологичности производства, невысокой окультуренностью почв и недостаточным применением удобрений и средств защиты растений. Считают [1], что деиндустриализация страны сделала

зависимость сельского хозяйства от почвенно-климатических условий, снижающих устойчивость отрасли и экономики страны в целом. Возросли существенные потери в аграрном секторе от нерационального размещения сельскохозяйственного производства по зонам и регионам. Одной из причин стагнации отечественного производства, массового импорта, считает В.А. Панфилов, является методологический кризис в науке и инженерии АПК страны. Необходим системный подход к решению проблем АПК России, что позволяет создавать технологические комплексы, обеспечивающие интеграцию и синтез различных технологических процессов.

Стратегическим направлением научнотехнического развития производства высококачественного зерна пшеницы должно стать освоение зональных интенсивных технологий, обеспечивающих эффективное использование почвенно-климатических ресурсов и средств интенсификации, учитывающих требования систем ландшафтного земледелия и экологической безопасности. Достижения высокой степени использования зональных почвенно-климатических ресурсов для формирования урожая обеспечивается за счет подбора оптимальных вариантов элементов технологии. Максимальная эффективность достигается при варьировании операциями в принятой технологии, отмечает В.И. Кирюшин. Однако экономисты пока еще не доработали теорию интенсивного экономического роста. Согласно [2], «Нам недостает знаний более высокого уровня, благодаря которым становится возможным увидеть не только уже выясненную причину экономического явления, но и ее истоки, совокупность событий, подготовивших рассмотренную ситуацию».

Материалы и методы исследования

Организация любого производства должна начинаться с технологии, а экономика с производства. Агротехнологию можно рассматривать как единство четырех составляющих [3]: последовательный перечень взаимосвязанных и взаимообусловленных технологических операций; параметры агротребований, которые должны быть достигнуты путем выполнения той или иной операции; необходимые для выполнения операции материально-технические средства; база информационной поддержки агротехнологий и технические средства диагностики состояния посевов и параметров среды. Если технология не изменяется, то производство и экономика находятся в застое. Поэтому для каждой природной зоны и почвенной разновидности необходимо создавать экономически целесообразную степень окультуренности почв с определением оптимального уровня интенсификации, обеспечивающего получение гарантированного урожая и окупаемость капвложений в техническую базу. Однако, как следует из анализа работы [4],

урожайность всюду стагнирует, за исключением небольшого числа крупных агрохолдингов. Основная причина этому продолжительная несменяемость технологий. Большинство производителей применяют экстенсивные технологии, являющиеся самыми эффективными; требуют минимальных затрат, но дают максимальную удельную прибыль производителям. Остальные три технологии, предназначенные для получения более высоких урожаев, дороги и рассчитаны либо на значительные дотации государства, либо на весьма выгодные условия, присущие холдингам.

Профессор Л.В. Березин, отмечая основное кредо Н.В. Орловского и Н.Д. Градобоева, пишет: «Природа не любит однообразия. Каждая почва - плод неповторимого сочетания реакции на действие почвообразующих факторов. И наша цель - познать эти взаимосвязи. ...В природе полей с определенными почвами нет, повсеместно распространены лишь почвенные комбинации. Следовательно, система обработки должна ориентироваться на почвенные комплексы, если они являются фоном того или иного ландшафта». Другие полагают, что почва как целостная гетерогенная система представляет собой совокупность ряда более простых гомогенных систем, взаимодействие между которыми приводит к возникновению новых качеств, не наблюдавшихся у образующих ее компонентов. Гетерогенность состоит в том, что в почве постоянно зарождаются новые химические, биохимические, геохимические микропроцессы на фоне уже протекающих и большей частью еще не закончившихся. Согласно А.Д. Арманду, классические отвальные обработки вывели пашню далеко за пределы равновесного состояния. Смещение равновесия свойств путем воздействия на объект различных факторов, других объектов, времени и пространства обнаруживает новые свойства, часто неожиданные и неизвестные. При этом имеет место синергетический эффект. Однако в условиях Сибири не рекомендуется применение интенсивных технологий при наличии почв неоднородного состава, а также в засушливый период [5]. Технологии индустриальных производств останутся на ближайший период несущей конструкцией экономики, которая останется многоукладной. С повышением уровня интенсификации производства и планируемой урожайности доля потребления растениями элементов питания из почв уменьшается, однако при этом возрастает доля влияния на урожай водно-физических, биологических, физико-механических свойств почвы. Однако максимально возможный урожай сельскохозяйственных культур определяется в первую очередь климатическими условиями.

Технология состоит из целого ряда подсистем, которые, в свою очередь, из элементов — технологических операций, представляющие собой комплекс типичных физических, химических и биохимических процессов. Чем больше система, тем выше должна быть ее организация, тем лучше должно быть управление [6]. Любая технология содержит последовательность технологических операций, а сама проблема управления заключается в выборе оптимального числа операций, определении их размера и времени выполнения. Именно эта проблема пока не решена даже в самых современных системах точного земледелия, отмечает И.М. Михайленко. Однако на первый план ставят значимость энергии. Нет энергии — нет жизни. Нет энергии — нет жизни. Нет энергии — производства [7].

Важнейшей задачей сельскохозяйственного производства в современных условиях является обеспечение дальнейшего роста производительности труда на всех операциях по возделыванию сельскохозяйственных культур при сохранении высокого качества выполнения работ, что достигается, согласно Л.В. Гячеву, если:

- 1) принципы действия и механические характеристики рабочих органов соответствуют агротехническим требованиям и условиям работы машины;
- обеспечение устойчивого движения машины при заданной рабочей скорости.

Применение агротехнологий без учета пространственной и временной вариабельности параметров плодородия почв приводит к нарушению равновесия агроэкосистем. Поэтому важной задачей является определение количественных показателей их изменчивости на том или ином поле [3]. Актуальным также является создание научно обоснованной методики разделения реально неоднородного сельскохозяйственного поля на условно однородные участки с возможным применением недифференцированных агротехнологий. Однако для решения проблемы однородности почв нужна мера близости, отсутствие которой сдерживает количественную оценку неоднородности почвенного покрова. Анализ работ показывает, что не установлено, до какого уровня необходимо преобразовывать неоднородность почвы [8], а при выборе технологии отсутствует системный подход [9]. Поэтому важным моментом повышения эффективности возделывания зерновых культур с использованием машинных технологий остается поиск экологических ниш [5].

Цель работы: разработать методические положения и установить взаимосвязи и зависимости между основными свойствами и состоянием почвы, а также локальными показателями технологических операций, обеспечивающих получение требуемых выходных показателей машинных технологий возделывания зерновых культур, как сложных систем.

Методы исследования: методы оптимизации, анализа и синтеза, системный подход.

Результаты исследования и их обсуждение

Научным фундаментом проектирования и создания больших сложных систем является синергетика, как часть общего системного анализа, поскольку и в синергетике, и в системном анализе основной интерес представляют общие принципы, лежащие в основе функционирования системы. Синергетика позволяет осуществлять интеграцию, междисциплинарность, а также осуществлять синтез различных технологических процессов [6].

По А.Д. Воронину, почва представляет собой динамическую систему. Согласно [10], именно изучением динамических систем и процессов занимается синергетика. В соответствии с положениями синергетики, для природных объектов, находящихся за пределами равновесного состояния, важна не величина, а форма пространственного распределения энергии. Отсюда вытекает

главный вывод — применение усредненной для природно-климатической зоны агротехнологии не дает желаемых результатов.

В первом приближении, для описания динамических процессов, рекомендуется [10] применять экспоненциальные зависимости. В качестве теоретической предпосылки, учитывающей взаимосвязь между размером посевных площадей и урожайностью возделываемых зерновых культур, принята экспоненциальная зависимость вида

$$F = F_{o}e^{-\alpha Y_{\text{ДВУ}}},\tag{1}$$

ИЛИ

$$\ln \frac{F}{F_o} = -\left(\alpha Y_{\text{\tiny ABY}}\right) = -\left(\frac{Y_{\text{\tiny ABY}}}{Y_{\alpha}}\right), \qquad (1a)$$

где F, $F_{_{0}}$ — соответственно посевная площадь культуры и имеющие в конкретном хозяйстве площадь пашни; $\mathbf{y}_{_{\text{дву}}}$ — действительно возможная величина урожайности. Знак «минус» указывает на уменьшение урожайности с ростом площадей посева.

Принято считать, что при возделывании сельскохозяйственных культур постоянной величиной обладают площади, а величина урожайности относится к переменной величине, зависящей от множества факторов и условий.

С позиции экономической эффективности, точка безубыточности характеризует предельное значение окупаемости затрат на получение урожайности имеет вид

$$\delta \mathbf{Y} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{I}\mathbf{I} - \mathbf{A}_{o}} = \frac{q}{\beta - 1},\tag{2}$$

где Б — условно-постоянные затраты; $A = A_o$ У — условно-переменные затраты; A_o — удельные условно-переменные затраты; У — действительно возможная урожайность возделываемой культуры; Ц — цена реализуемой зерновой продукции; $q = E/A_o$ — относительный показатель затрат; $\beta = II/A_o$ — относительная (вновь созданная) стоимость продукции.

Для условий Российской Федерации, $\beta = 1,3-2,2$. Для сельскохозяйственного производства условно-переменные затраты в общей структуре затрат составляют, A = 70-80%, а условно – постоянные затраты, E = 20-30% [11].

Подставляя усредненные значения затрат и их соотношение в выражение (2), имеем

$$\delta \mathbf{Y} = \frac{q}{\beta - 1} = \frac{0.33}{0.75} \mathbf{Y} = 0.44 \mathbf{Y}.$$
 (3)

Согласно принципу Р. Беллмана, оптимальная траектория должна состоять из

составляющих ее оптимальных элементов. В нашем случае, величина действительно возможной урожайности должна соответствовать оптимальной величине, обеспечивающей, согласно Н.В. Краснощекову, окупаемость капвложений. Исходя из целевого функционала прибыли и исследования ее на экстремум, нами [12] получена функция, позволяющая решать задачи структурного синтеза:

$$y = \frac{B}{II - A_o} + \frac{1}{\alpha},\tag{4}$$

где α — параметр, характеризующий природно-климатические условия возделывания зерновых культур.

Упростим выражение (4), приводя его к аддитивному выражению, отражающему зависимость оптимальной величины урожайности от двух блоков:

- 1) экономический блок, представляющий собой точку безубыточности, δV ;
- 2) блок природно-климатических условий, оцениваемых величиной $\mathbf{Y}_{\alpha}=1/\alpha;$

$$Y = \frac{F}{II - A_o} + \frac{1}{\alpha} = \delta Y + Y_a.$$
 (4a)

Разделив правую часть выражения (4a) на урожайность, получим долевое участие каждого блока в конечном результате:

$$1 = \frac{\delta \mathbf{y}}{\mathbf{V}} + \frac{\mathbf{y}_{\alpha}}{\mathbf{V}}.\tag{5}$$

Согласно имеющимся рекомендациям [5], эффективное возделывание зерновых культур обеспечивается в экологических нишах, где преобладают «даровые силы природы». Следовательно, оптимальная величина урожайности зерновых культур будет обеспечиваться при соблюдении условия, вытекающего из выражения (5):

$$\frac{\delta \mathbf{y}}{\mathbf{y}} < \frac{\mathbf{y}_{a}}{\mathbf{y}}.\tag{6}$$

С учетом выражения (5) определим долю вклада природно-климатических условий в конечной величине урожайности:

$$\frac{\mathbf{y}_{\alpha}}{\mathbf{V}} = 1 - \frac{\delta \mathbf{y}}{\mathbf{V}}.\tag{7}$$

Подставляя в выражение (7) величину относительной точки безубыточности из выражения (3), имеем

$$\frac{\mathbf{y}_{\alpha}}{\mathbf{y}} = 1 - 0.44 = 0.56.$$
 (8)

Из полученного решения (8) следует, что долевое участие природно-климатических условий в конечной величине урожайности составляет больше половины, что подтверждает рекомендации [5]. Имеющиеся исследования И.Г. Пыхтина показыва-

ют, что соотношение антропогенных затрат и природных находится на уровне 50:50.

Из выражения (8) определим параметр условий, α:

$$\alpha = \frac{1}{y_{\alpha}} = \frac{1}{0.56 \times y} = \frac{1.78}{y}.$$
 (9)

Из выражения (9) следует, что параметр условий «а» представляет собой гиперболическую функцию от величины урожайности, на получение которой должны проектироваться машинные технологии. Это подтверждает сложившиеся положения, утверждающие, что каждому значению условий необходимо разрабатывать свои операционные технологии, что в полной мере соответствует принципу сбалансированности.

Учитывая выражения (1а, 8), можно определить конкретную площадь посева зерновых культур, которая обеспечит получение максимума прибыли для принятой технологии:

$$ln \frac{F_0}{F} = \frac{Y_{\text{ABY}}}{Y_{\text{c}}} = 1,78$$

ИЛИ

$$F = 0.1667F_{o}$$
.

Из полученного решения следует, что в среднем площадь минимального участка, обеспечивающего получение урожайности с прибылью, составляет 16,67% от имеющегося общего объема посевных площадей. Согласно [13], только 10–15% хозяйств применяют технологии интенсивного типа. Для СФО, по данным В.К. Каличкина, доля площадей, на которых можно применять интенсивные технологии, составляет 10%.

Для конкретных условий применение предложенного методического подхода и полученных зависимостей и взаимосвязей позволили разработать автоматизированный технологический комплекс почвообработки [14], что отражает решение задачи параметрического синтеза, а для выделения однородных участков по обобщенному показателю физико-механических свойств обоснована твердость почвы, предложены новые технические решения, подтвержденные патентами на изобретения [15]; устройство для непрерывного определения твердости почвы. Патент № 2578444 на новое техническое устройство от 12 марта 2015 г.

Выволы

1. Возделывание зерновых культур, являющихся преобладающими, требуют совершенствования методического подхода и установления зависимостей, позволяющих

выявить новые факторы, учет которых обеспечивает эффективное их возделывание.

- 2. Полученные зависимости позволили установить, что одновременно на всей имеющейся площади посева нельзя получить урожайность, обеспечивающую максимум прибыли, и подтверждают необходимость осуществления специализации и соответствующего размещения зерновых культур по природно-климатическим зонам.
- 3. Предложенные методические положения и технические решения могут быть использованы для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур на почвах с неоднородным почвенным покровом.

Список литературы

- 1. Амосов А. О возрождении всероссийских агропромышленных и агропродовольственных рынков / А.О. Амосов // Экономист. -2017. -№ 4. -C. 29-37.
- 2. Корняков В. Производительность труда: критические темпы роста / В. Корняков // Экономист. 2008. № 4. С. 51–59.
- 3. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. Спб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
- 4. Липкович Э.И. Человеческий фактор в землепользовании / Э.И. Липкович // АПК: Экономика, управление. 2017. № 3. С. 36–43.
- 5. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области / В.И. Кирюшин, А.Н. Власенко, В.К. Каличкин и др.; под ред. В.И. Кирюшина, А.Н. Власенко; РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИЗхим. Новосибирск, 2002. 388 с.

- 6. Баутин В.М., Панфилов В.А. Парадигма развития технологий АПК / В.М. Баутин, В.А. Панфилов // Экономика сельского хозяйства России. 2017. № 6. C 18—31
- 7. Мурадов III.О. Некоторые вопросы биоэнергетики экономики / III.О. Мурадов // Проблемы науки. 2017. № 3. С. 6–8.
- 8. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.
- 9. Голубев А.В. Тенденции аграрной динамики России: монография. М.: Изд-во РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 226 с.
- $10.\ X$ акен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: пер. с англ. М.: Мир, 1985.-423 с.
- 11. Белякова А. Механизм формирования земельной ренты и арендной платы при аренде земельных участков сельхозназначения / А. Белякова // АПК: Экономика, управление. 2014. № 2. С. 89—93.
- 12. Утенков Г.Л. Стратегия формирования машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Сибири / Г.Л. Утенков // Вестник КрасГАУ. 2010. № 2. С. 123–127.
- 13. Алтухов А.И. Технико-технологический потенциал зернового хозяйства страны и необходимость его модернизации / А.И. Алтухов // Экономика сельского хозяйства России. 2015. № 1. С. 12–26.
- 14. Утенков Г.Л., Добролюбов И.П. Автоматизированные технологические комплексы почвообработки / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. СибИМЭ. Новосибирск, 2006. 380 с.
- 15. Utenkov G.L. Improvement of technological processes and improving the quality of tillage in Siberia / G.L. Utenkov // European Journal of Natural History. Agriculturel sciences Article. -2016. N₂ 4. P. 4-7.

УДК 338.4:330.4:630

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОРТФЕЛЯ ЗАКАЗОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С УЧЕТОМ МНОГОВАРИАНТНОСТИ ВЫХОДА СОРТИМЕНТОВ С ЛЕСОСЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

¹Шегельман И.Р., ²Будник П.В., ²Щеголева Л.В.

¹Карельская региональная общественная организация «Инженерная академия», Петрозаводск, e-mail: shegelman@onego.ru; ²ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: budnikpavel@yandex.ru, schegoleva@petrsu.ru

Рассматривается задача оптимизации портфеля заказов лесозаготовительных предприятий. В отличие от традиционного подхода к решению данной задачи запасы леса рассматриваются не как константа объема определенных сортиментов, а как гибкая система, подстраиваемая под потребности участников рынка лесной продукции. Такой подход обуславливается тем, что ствол дерева может быть раскряжеван различными способами с получением лесоматериалов разного назначения. Задача оптимизации портфеля заказов решается методом математического программирования. Описаны математические модели, которые были использованы для обоснования портфеля заказов ряда предприятий лесопромышленного комплекса. В качестве целевых функций математических моделей предложены выражения, максимизирующие прибыль либо конкретного лесозаготовительного предприятия, либо их совокупности. Также в качестве целевой функции предложено использовать выражения максимизирующие прибыль лесозаготовительного предприятия с минимальной прибылью. Разработанные модели позволяют определять значения оптимальных портфелей заказов для лесозаготовительных предприятий с учетом: характеристик предмета труда; вариативности их вида и формы с учетом фактора возможности управления (изменения); затрат на преобразование предмета труда в готовую продукцию; договорных соглашений между предприятиями отрасли; мощности предприятий по заготовке и переработке биомассы древесины; индивидуальных особенностей предприятий отрасли, исключающих банкротство отдельных лесозаготовительных предприятий. Отличительной особенностью предлагаемых моделей является то, что они позволяют получать рекомендации по способам раскряжевки стволов.

Ключевые слова: математическое моделирование, портфель заказов, оптимизация, лесозаготовительное предприятие, многовариантность выхода лесоматериалов

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS FOR OPTIMIZING OF PRODUCT PORTFOLIO OF LOGGING ENTERPRISES TAKING INTO ACCOUNT THE MULTIVARIATE OUTPUT OF ASSORTMENTS FROM THE FOREST RAW MATERIAL BASE

¹Shegelman I.R., ²Budnik P.V., ²Shchegoleva L.V.

¹Karelian regional public organization «Engineering Academy», Petrozavodsk, e-mail: shegelman@onego.ru; ²Petrozavodsk State University (PetrSU), Petrozavodsk, e-mail: budnikpavel@yandex.ru, schegoleva@petrsu.ru

The problem of optimization of product portfolio of logging enterprises is considered. Unlike the traditional approach to solving this problem, the forest resources are considered as a flexible system, adjusted to the needs of the participants of the forest products market. This approach is due to the fact that the trunk of the tree can be cross-cut in various ways to produce timber for different purposes. The task of optimizing the portfolio of orders is solved by mathematical programming. Mathematical models that were used to substantiate the order portfolio of enterprises of the timber industry complex are described. As the objective function of mathematical models, expressions are proposed that maximize the profit of either a particular logging enterprise or their aggregate. Also, as an objective function, it is proposed to use the expression maximizing the profit of a timber enterprise with a minimum profit. Models allow to determine the values of optimal product portfolio for logging enterprises taking into account: the characteristics of the subject of labor; taking into account the possibility of managing the output of assortments; costs for converting the subject of labor into finished products; contractual agreements between enterprises of the industry; capacity of enterprises for harvesting and processing of wood biomass; individual features of the enterprises of the industry that preclude the bankruptcy of individual logging enterprises. Also, the models allow you to receive recommendations on how to truss the trunks.

Keywords: mathematical modeling, product portfolio, optimization, logging enterprise, multivariate output of timber

Проблема повышения эффективности функционирования лесопромышленного комплекса не может быть преодолена без решения задач построения оптимального баланса производства и потребления

биомассы древесины. Традиционно в задачах такого вида в качестве исходных данных выступают объемы производства лесоматериалов [1, 2], при этом виды лесоматериалов, получаемых на лесосеке,

и их объем зафиксированы и неизменны. Решением задачи в такой постановке являются объемы потоков лесоматериалов каждого вида от лесосек к перерабатывающим предприятиям.

На практике лесозаготовительное предприятие в зависимости от сложившейся коньюнктуры на рынке может варьировать виды вырабатываемых с одной и той же лесосеки сортиментов и их количество. Это обусловлено тем, что ствол дерева может быть раскряжеван различными способами с целью получения сортиментов определенного вида, которые могут быть переработаны лесопотребителями.

Например, в регионе имеются предприятия, потребляющие еловый пиловочник длиной 5 м, еловый баланс длиной 4,5 м, еловые строительные бревна длиной 5 м и дрова 5-4 м. Каждый вид лесоматериала характеризуется: породой; максимальным и минимальным диаметром в верхнем отрезе; длиной; качественными характеристиками (допустимыми пороками). В данных условиях, если рассматривать еловый ствол длиной 16 м, имеется, по крайней мере, два варианта раскряжевки: «пиловочник + баланс + дрова»; «строительное бревно + баланс + дрова». Следовательно, возникает более сложная задача оптимизации портфеля заказов, связанная с многовариантностью использования древесины.

Подход к определению портфеля заказов, основанный на принятии многовариантности выхода сортиментов с лесосырьевой базы, позволяет оптимизировать выбор технологических цепочек производства и потребления лесоматериалов по критерию наиболее выгодного использования лесного фонда.

Анализ работ [3, 4] и др. показывает, что решение задачи по формированию оптимального портфеля заказов может осуществляться на основе применения средств экономико-математического моделирования, численных методов решения задач математического программирования, а также информационных технологий.

Задача оптимизации портфеля заказов тесно связана с проблемой оптимального раскроя ствола дерева. Задача оптимального раскроя сводится к определению рациональных вариантов поперечного деления ствола дерева на сортименты, удовлетворяющих определенному условию максимума, в частности наибольшей стоимости вырабатываемых сортиментов, максимальному использованию древесины ствола и др. Среди отечественных исследований, посвященных анализу процесса оптимальной раскряжевки стволов, можно отметить

работы В.С. Петровского, Г.А. Степакова, А.С. Ледяева, И.И. Тихонова, Е.В. Воробьевой и др. [5–7]. За рубежом также ведутся исследования в этом направлении [8, 9].

Цель данного исследования заключается в разработке математических моделей, обеспечивающих оптимизацию портфеля заказов для лесозаготовительных предприятий с учетом многовариантности выхода сортиментов с лесосырьевой базы.

Постановка задача оптимизации портфеля заказов нами была изложена в работе [10]. Для ясности излагаемого материала кратко приведем суть постановки задачи. Имеются запасы леса с известными значениями его параметров для каждого лесного участка, где предполагается проводить лесозаготовки. Известны лесоперерабатывающие предприятия, для каждого из которых определены виды и необходимые объемы лесоматериалов. Имеется транспортная сеть, соединяющая лесные участки и лесоперерабатывающие предприятия. Необходимо выбрать потребителей и объемы реализации им лесоматериалов посредством выбора вариантов раскряжевки хлыстов, с учетом установленного критерия оптимизации. Варьируя способы раскряжевки хлыстов, можно получить различные варианты использования древесины, что соответствует различным схемам реализации лесоматериалов лесоперерабатывающим предприятиям.

Материалы и методы исследования

Задача оптимизации портфеля заказов на основе учета многовариантности раскряжевки стволов деревьев является сложной многоэтапной задачей, требующей выделения ряда последовательных подзадач. Предложено выделить следующие этапы:

- 1) прогноз выхода стволовой древесины;
- 2) формирование множества вариантов раскряжевки стволов;
- определение оптимального портфеля заказов с использованием методов математического программирования.

На первом этапе осуществляется прогноз выхода стволовой древесины с участков, отведенных в рубку. Такие данные могут быть получены на основе материально денежной оценки лесосек. Также для этих целей может быть использована разработанная нами имитационная модель выхода стволовой древесины, описанная в работе [11].

Второй этап предполагает решение задачи формирования множества вариантов раскряжевки стволовой древесины на сортименты. Виды сортиментов, рассматриваемые при формировании множества вариантов раскряжёвки, определяются из анализа потребительского спроса на рынке. Выход сортиментов может быть определен либо по сортиментным таблицам, либо по товарным.

Для решения задачи третьего этапа предлагается следующая модель. Введем необходимые обозначения для описания предмета труда. Пусть k — тип ство-

ла; K — общее количество типов стволов (каждый тип описывается тремя значениями: порода; длина; диаметр у комля), $\sum_{k=1}^K k = K$; N_k — количество вариантов раскряжевки стволов типа k; N — общее количество вариантов раскряжевки стволов, $\sum_{k=1}^K N_k = N$; r — вид сортимента; R — общее количество видов сортиментов, $\sum_{r=1}^R r = R$; j — вариант раскряжевки; D_{rkj} — количество сортиментов вида r, которые получаются из стволов типа k при варианте раскряжевки j; T — перистволов типа k при варианте раскряжевки j; T — перистволов типа k при варианте раскряжевки j; T — перистволов типа k при варианте раскряжевки j; T — перистволов типа k при варианте раскряжевки k

од планирования. Для описания лесозаготовительных предприятий введем следующие обозначения. Пусть p – лесозаготовительное предприятие; P – общее количество лесозаготовительных предприятий; M_p – множество лесосек, назначенных для рубки лесозаготовительным предприятиям p; M – общее количество лесо-

сек,
$$\sum_{p=1}^{} M_p = M$$
; i — номер лесосеки; A_{ik} — количество стволов типа k , предназначенных для рубки на лесосеке i ; G_p^1 — количество стволов, заготовляемых в смену лесозаготовительным предприятием p ; C_i — затраты на заготовку одного ствола на лесосеке i .

Для описания перерабатывающих предприятий введем следующие обозначения. Пусть s — деревообрабатывающее предприятие; S — общее количество перерабатывающих предприятий; B_{rs} — количество сортиментов вида r, необходимых перерабатывающему предприятию s; B_{rps}^1 — количество сортиментов вида r, которое заготовительное предприятие p должно поставить перерабатывающему предприятию s в рамках договоров; G_s^2 — количество сортиментов, потребляемых в смену на перерабатывающем предприятии s; F_{rs} — цена реализации сортиментов вида r перерабатывающему предприятию s.

Введем переменные: $X_{ijk} \ge 0$ — количество стволов типа k с лесосеки i, раскряжеванных по варианту j; $Y_{psr} \ge 0$ — количество сортиментов вида r, поставляемых от лесозаготовительного предприятия p на перерабатывающее предприятие s.

Введем ограничения модели. Количество раскряжеванных стволов типа k не должно превышать числа стволов, имеющихся на лесосеке i:

$$\sum_{j=1}^{N_k} X_{ijk} \le A_{ik}, \text{ для } i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}. \tag{1}$$

Количество поставляемых сортиментов вида r должно быть больше, чем потребность в них на деревоперерабатывающем предприятии s:

$$\sum_{p=1}^{P} Y_{psr} \ge B_{rs}, \text{ для } s = \overline{1, S}, r = \overline{1, R}. \tag{2}$$

Количество поставляемых сортиментов вида r должно быть больше количества, определенного договорными отношениями между лесозаготовительным предприятием p и перерабатывающим предприятие s:

$$Y_{psr} \ge B_{rps}^1$$
, для $s = \overline{1,S}, p = \overline{1,P}, r = \overline{1,R}$. (3)

Количество сортиментов вида r, поставляемых лесозаготовительным предприятием p, должно быть меньше или равно количеству сортиментов, поставляемых всем деревообрабатывающим предприятиям:

$$\sum_{i \in M_p} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} D_{rkj} \cdot X_{ijk} \geq \sum_{s=1}^S Y_{psr}, \ \text{для} \ p = \overline{1, P}, r = \overline{1, R}. \ (4)$$

Количество стволов, заготовляемых на лесосеках лесозаготовительного предприятия р за период планирования T, не должно превосходить объема работ, который может быть выполнен за период планирования:

$$\sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_k} X_{ijk} \le T \cdot G_p^1, \text{ для } p = \overline{1, P}.$$
 (5)

Количество сортиментов, перерабатываемых на перерабатывающем предприятии s за период планирования T, не должно превосходить объема работ, который может быть выполнен за период планирования:

$$\sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} Y_{psr} \le T \cdot G_s^2, \text{ для } s = \overline{1, S}.$$
 (6)

Определение рационального портфеля заказов может осуществляться на основе разных критериев оптимизации. В качестве критериев оптимизации могут выступать: минимизация затрат конкретного лесозаготовительного предприятия или некоторой их совокупности; максимизация прибыли конкретного предприятия или некоторой их совокупности; максимизация прибыли предприятия с минимальной прибылью; минимизация затрат предприятия с максимальными затратами. По нашему мнению, в условиях рыночной экономики целесообразно в качестве критерия оптимизации выбирать прибыль. В таком случае целевая функция модели будет выражать прибыль, получаемую за счет разности между выручкой от продажи лесоматериалов и затратами на их заготовку.

Для конкретного лесозаготовительного предприятия р целевая функция имеет вид

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} Y_{psr} \cdot F_{rs} - \sum_{i=1}^{M_p} \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N_k} C_i \cdot X_{ijk} \to \max.$$
 (7)

Выражение (7) максимизирует прибыль конкретного лесозаготовительного предприятия.

Целевая функция для определения рационального портфеля заказов для нескольких лесозаготовительных предприятий p:

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} Y_{psr} \cdot F_{rs} - \sum_{i=1}^{M} \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N_k} C_i \cdot X_{ijk} \to \max. \quad (8)$$

Целевая функция максимизирует прибыль нескольких лесозаготовительных предприятий. Следует отметить, что при использовании целевой функции (8) может сложиться такая ситуация, когда одно или несколько предприятий окажутся банкротами. В таком случае может быть целесообразным введение дополнительного ограничения, при котором количество заготовленных стволов на лесосеках лесозаготовительного предприятия р должно быть больше, чем минимальное количество заготовки:

$$\sum_{i \in M_p} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{N_k} X_{ijk} \ge E_p, \text{ для } \forall p, \tag{9}$$

где E_{p} — минимальное количество стволов, которое должно быть заготовлено на лесозаготовительном предприятии p, чтобы избежать банкротства лесозаготовителя.

Также в качестве критерия оптимальности может быть максимизация прибыли лесозаготовительного предприятия с минимальной прибылью:

$$\min_{p} \left\{ \sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} Y_{psr} \cdot F_{rs} - \sum_{i \neq M_{p}} \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N_{k}} C_{i} \cdot X_{ijk} \right\} \to \max.$$
 (10)

Оптимизация портфеля заказов для конкретного лесозаготовительного предприятия р с учетом транспортных затрат примет вид

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} Y_{psr} \cdot F_{rs} - \sum_{i=1}^{M_p} \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N_k} C_i \cdot X_{ijk} - \sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} Y_{psr} \cdot T_{psr} \to \max,$$
(11)

где T_{psr} – затраты на транспортировку сортимента вида r от лесозаготовительного предприятия p к обрабатывающему предприятию s.

Для некоторой совокупности предприятий р:

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} Y_{psr} \cdot F_{rs} - \sum_{i=1}^{M} \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N_k} C_i \cdot X_{ijk} - \sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} \sum_{p=1}^{P} Y_{psr} \cdot T_{psr} \to \max.$$
(12)

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанные модели (1)-(12) позволяют определить оптимальный портфель заказов для лесозаготовительных предприятий с учетом: характеристик предмета труда, вариативность выхода сортиментов; затрат на преобразование предмета труда в готовую продукцию; договорных соглашений между предприятиями отрасли; мощности предприятий по заготовке и переработке биомассы древесины; индивидуальных особенностей предприятий отрасли, исключающих банкротство отдельных лесозаготовительных предприятий. Отличительной особенностью предлагаемых моделей является то, что они позволяют получать рекомендации по способам раскряжевки стволов, а следовательно, рассчитывать оптимальный баланс производства и потребления биомассы древесины с учетом вариативности выхода сортиментов на конкретной лесосеке.

Апробация моделей была проведена при обосновании инвестиционных проектов для предприятий отрасли: ООО «Соломенский лесозавод», ООО «Карлис-Пром», ООО «СтройИнвестРесурс», ООО «Минусинсклес», ООО НПО «Финтек», ООО «Роскомлес».

Следует отметить некоторые сложности в использовании предлагаемых моделей, связанные со временем, затрачиваемым на расчет. Сложность расчетов оптимального портфеля заказов, а следовательно, и их длительность, сильно зависит от количества видов сортиментов, на которые может быть раскряжёван ствол дерева. Опыт применения моделей показал, что задача может быть решена с приемлемой скоростью на настольном компьютере, если рассматри-

вается возможность выпиливания из ствола дерева не более 6–8 видов сортиментов. При увеличении числа сортиментов время расчетов значительно вырастает. В настоящее время нами ведутся исследования по оптимизации расчетов на основе генетических алгоритмов.

Заключение

Традиционно задача построения оптимального баланса производства и потребления биомассы древесины решалась на основе подхода, где в качестве исходных данных предполагаются «зафиксированные» объемы производства сортиментов, получаемых с лесных участков. Однако освоение лесного фонда в своей основе предполагает многовариантность использования древесины, обусловленную тем, что ствол дерева может быть раскряжеван различными способами. Представленные в работе математические модели (1)–(12) позволяют решать задачу построения оптимального баланса производства и потребления биомассы древесины с учетом такой многовариантности. Запасы леса рассматриваются не как константа объема лесоматериалов каждого сортимента, а как гибкая система, подстраиваемая под потребности участников рынка лесной продукции. Сортиментный план лесозаготовительного предприятия динамически формируется в процессе решения задачи выбора лесоперерабатывающих предприятий. Такой подход позволяет рациональнее использовать биомассу древесины и способствует повышению эффективности лесопромышленного функционирования комплекса в целом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке $P\Phi\Phi U$ в рамках научного проекта № 16-38-00327 мол_а.

Список литературы

- 1. Оптимизация логистики лесозаготовок / А.П. Соколов [и др.] // Resources and Technology. 2012. Т. 9, № 2. С. 117–128.
- 2. Математическая модель задачи планирования многопередельного производства в лесопромышленном комплексе / Р.В. Воронов [и др.] // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (133). – С. 101–104.
- 3. Теория и практика принятия оптимальных решений для предприятий лесопромышленного комплекса / А.В. Воронин, В.А. Кузнецов, И.Р. Шегельман, Л.В. Щеголева. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 80 с.
- 4. Воронин А.В. Прикладные транспортно-производственные задачи планирования работы предприятий ЛПК / А.В. Воронин // Лесной журнал. -2004. -№ 1. -C. 103-110.
- 5. Петровский В.С. Оптимальная раскряжевка лесоматериалов / В.С. Петровский. М.: Лесная пром-сть, 1989. 288 с.
- 6. Степаков Г.А. Оптимизация производства круглых лесоматериалов / Г.А. Степаков. М.: Лесная промышленность, 1974. 160 с.

- 7. Воробьева Е.В. Оптимизация раскряжевки хвойных хлыстов с получением вершинного тонкомерно-короткомерного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2009.-20 с.
- 8. Pickens J.B., Lee A., Lyon G.W. Optimal Bucking of Northern Hardwoods // Northern Journal of Applied Forestry. 1992. vol. 9, no. 18. P. 149–152.
- 9. Boston K., Murphy G. Value Recovery from Two Mechanized Bucking Operations in the Southeastern United States // Southern Journal of Applied Forestry. 2003. vol. 27, no. 4. P. 259–263.
- 10. Шегельман И.Р., Щеголева Л.В., Будник П.В. Постановка задачи оптимизации портфеля заказов лесозаготовительных предприятий в технологических сетях лесопромышленных производств // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1 (часть 2). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2844 (дата обращения: 11.10.2017).
- 11. Прогнозирование выхода стволовой древесины по средним таксационным характеристикам лесонасаждения на основе имитационного моделирования / И.Р. Шегельман [и др.] // Фундаментальные исследования. 2016. № 4–1. С. 118–122.